

BEWERTUNGSTRUMENTE ZUR ÖKOLOGISCHEN UND ÖKONOMISCHEN EFFIZIENZSTEIGERUNG VON ATLASTENSANIERUNGEN

FALLSTUDIE AM BEISPIEL VON VIER EHEMALIGEN
GASWERKSTANDORTEN IN HESSEN

Mit 7 Abbildungen, 42 Tabellen

Dissertation

zur
Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

dem
Fachbereich Geowissenschaften
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Jeffrey Windisch

aus Darmstadt

Marburg/Lahn 1999

Inhalt

Dank	5
Kurzfassung	6
1. Thematik.....	7
1.1 Stand der Sanierungspraxis	7
1.2 Bewertungsinstrumente.....	8
1.2.1 Stand der Forschung.....	10
1.2.2 Eigene Vorgehensweise	11
1.3 Ziele	13
2. Standortüberblick.....	13
2.1 Auswahlkriterien	14
2.2 Geographische Gegebenheiten	15
2.3 Historischer Abriß	18
3. Zustandsanalysen.....	19
3.1 Ausgangssituation.....	19
3.1.1 Geologische Verhältnisse	20
3.1.2 Hydrogeologische Verhältnisse	22
3.1.3 Probenahme	25
3.1.4 Chemische Analytik.....	25
3.1.5 Kontaminationsverhältnisse.....	28
3.1.6 Sanierungsareale	32
3.1.7 Behördliche Vorgaben.....	34
3.1.8 Sanierungsverfahren.....	39
3.2 Kenndaten	40
3.2.1 Potentielle Kenndaten	40
3.2.2 Kenndatenerhebung	41
3.2.3 Kenndatengüte	41
3.2.4 Kenndatengruppen	42
3.3 Kennwerte	45
3.3.1 Aufbereitete Umweltmedien.....	45
3.3.2 Abgereinigte Kontaminanten.....	48
3.3.3 Energieaufwand	50
3.3.4 Angefallene CO ₂ -Emissionen	51
3.3.5 Monetäre Aufwendungen	52
3.4 Kennwerterelationen.....	55
3.4.1 Emissionsrelationen	55
3.4.2 Kostenrelationen	57
3.5 Diskussion	57
4. Zusammenfassung der Ergebnisse	71
5. Schriftenverzeichnis.....	74
5.1 Literatur	74
5.2 Sonstige Unterlagen.....	77

Anhang	79
I Pläne der Gaswerkstandorte	80
II Grundlagen der Gasproduktion	84
III Produktionsbereiche und potentielle Kontaminationen	89
IV Chemisch-physikalische Stoffeigenschaften.....	90
V Einzelstofflisten.....	92
VI Bodenaufbereitung.....	99
VII Wasseraufbereitung	101
VIII Kenndatenzuordnung	103
IX Sekundäre Umweltbelastungen	107
X Monetären Kenndaten.....	115
XI Verwendete Abkürzungen.....	136

Kurzfassung

Mittels eines integrativen Konzeptes werden erstmals instrumentalisierte Bewertungskriterien aufgezeigt, die eine Aussage über die Möglichkeiten zur ökologischen und ökonomischen Effizienzsteigerung von Altlastensanierungen zulassen. Dies geschieht am Beispiel der Sanierungen von vier vergleichbaren ehemaligen Gaswerkstandorten in Hessen: Gießen, Marburg, Weilburg und Wetzlar.

Alle signifikanten, im Zuge der einzelnen Sanierungen anfallenden, geogenen, toxikologischen, legislativen, folgenutzungsbezogenen sowie die – erstmalig berücksichtigten – betriebswirtschaftlichen Kenndaten, wurden isoliert und in repräsentativen Gruppen zusammengestellt. Daraus wurden für die Zustandsanalysen Kennwerte, Kennwerterelationen und Steuerungsfaktoren abgeleitet und interpretierend dokumentiert.

Ein besonderer Schwerpunkt wird auf die Interpretation und Bewertung der geologischen Situation des jeweiligen Sanierungsstandortes gesetzt. Damit wird über die derzeit übliche Betrachtung deutlich hinausgegangen.

Zudem werden die Gefährdungspfade nicht, wie gegenwärtig üblich, nur durch das Kontaminationspotential am Standort typisiert, sondern auch durch die im Zuge der Sanierung ausgelösten xenotopen Umweltbeeinträchtigungen. Für die kontaminantenbezogenen Relationen wurde exemplarisch die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) herangezogen.

1. Thematik

Die nachfolgenden Untersuchungen bauen auf einem in Eigeninitiative initiierten Kooperationsprojekt auf, das 1995 in Zusammenarbeit mit dem Referat für Umweltschutz der DEGUSSA AG, Frankfurt/Main realisiert wurde. Im Rahmen des Projektes wurde auf dem Gelände eines mittelständischen Industriebetriebes der DEGUSSA AG in Nordhessen, eine seit mehreren Jahren andauernde Boden- und Grundwassersanierung eines CKW-Schadens auf ihre ökologische und ökonomische Effizienz untersucht. Im Zuge der Bewertung der bis zum Untersuchungszeitpunkt angewendeten Sanierungsstrategie wurden erste sanierungsspezifische Wechselbeziehung erarbeitet, mittels derer eine Neukonzeptionierung und – damit verbunden – eine deutliche sowohl ökologische als auch ökonomische Effizienzsteigerung der Maßnahmen realisiert werden konnten. Ermutigt durch die erzielten Ergebnisse entstand, basierend auf eigenen konzeptionellen Vorstellungen und Ideen, die vorliegende Arbeit.

Die zur Erstellung der verschiedenen Kennwerterelationen (siehe Kap. 3.4) herangezogenen Daten der verschiedenen Sanierungsmaßnahmen, entstammen den im Kapitel 5. angegebenen Quellen. Aus datenschutzrechtlichen Gründen können diese nur mit Genehmigung der einzelnen Sanierungspflichtigen (Stadtwerke der jeweiligen Standorte) eingesehen werden.

Art und Umfang der Dokumentation der einzelnen Sanierungsmaßnahmen sind stark unterschiedlich. Dies beruht u. a. auf den verschiedenen Stadien, in denen sich die Sanierungen der einzelnen Standorte befinden. Zudem lassen sich die Sanierungspflichtigen z. T. weitgehend durch ihre gutachterlichen Auftragnehmer vertreten, wenngleich den Sanierungspflichtigen die alleinige Entscheidungsgewalt über die Freigabe der entsprechenden Sanierungsunterlagen obliegt. Daher wurden die benötigten Sanierungsunterlagen, nach Erteilung der Genehmigung zur Einsicht und Auswertung, von verschiedenen Bezugsquellen zusammengetragen. Es wurde dabei sowohl auf die Sanierungspflichtigen als auch auf alle an den jeweiligen Sanierungen beteiligten Firmen sowie die jeweils zuständigen Fachbehörden zurückgegriffen.

Da innerhalb des Zeitrahmens meines Promotionsstipendiums die Fertigstellung des Projektes gewährleistet werden mußte, wurde zu einem vorher festgelegten Zeitpunkt die Datenrecherche eingestellt und die bis dahin zusammengetragenen Informationen als „Stand der Dinge“ deklariert.

1.1 Stand der Sanierungspraxis

Grundlage für Umweltsanierungen: Die zunehmende Sensibilisierung der Bevölkerung für globale Umweltprobleme hat sich letztendlich auch auf den Bereich der weniger offensichtlichen oder sogenannten schleichenden Umweltbeeinträchtigungen, zu denen u. a. auch der Altlastenbereich zu zählen ist, ausgedehnt. Analog zu der durch gravierende Vorkommnisse ausgelösten globalen Sensibilisierung im Umweltbereich haben auch im Altlastenbereich erst entsprechend spektakuläre Vorfälle für eine erhöhte Aufmerksamkeit der Bevölkerung gesorgt und somit zu einer Anpassung der Rechtsprechung geführt.

Im allgemeinen wird unter einer Altlastensanierung der Einsatz von technischen Maßnahmen zur möglichst vollständigen Revision anthropogen verursachter Beeinträchtigungen bzw. Zustandsveränderungen natürlicher Ökosysteme verstanden. Diese werden vornehmlich durch den Eintrag systemfremder Substanzen, i. d. R. als "Schadstoffe" bezeichnet, in ein einzelnes Umweltmedium oder mehrere Umweltmedien zugleich (Boden, Grundwasser) verursacht wurden.

Momentane Verfahrensweise: Die Sanierung von Industriestandorten, und damit auch die ehemaliger Gaswerkstandorte, ist bereits seit mehreren Jahrzehnten fester Bestandteil der umweltgeologischen Forschung und der aktiven Altlastensanierungspraxis. Grundlegende Erkenntnisse sind bis jetzt im Bereich der Art des anzutreffenden Schadstoffspektrums, der Schadstoffverteilung sowie der potentiellen biologischen Abbaubarkeit der Schadstoffe gewonnen worden. In Abhängigkeit vom jeweiligen Stand der gesetzlichen Bestimmungen, den betroffenen Umweltmedien sowie des von den Schadstoffen ausgehenden Gefährdungspotentials werden unterschiedliche Methoden zur Sanierung der jeweiligen Verunreinigungen angewendet (GORLT 1993), (KNOBLICH et al. 1993), (LFU 1995).

Grundlage einer jeden Altlastensanierung ist dabei ein für den Einzelfall definiertes Sanierungsziel gemäß den gesetzlichen Bestimmungen sowie eine Kostenabschätzung gemäß dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit. Dabei werden fallspezifische Regelgrößen für die Gefährdungspfade Boden - Wasser - Luft festgelegt.

Bisher werden die Eingreif- bzw. Sanierungszielwerte unter Beachtung der toxikologischen Relevanz der Einzelschadstoffe bzw. des Schadstoffspektrums (LÜHR et al. 1995), deren Mobilisierbarkeit (HINZ & HOPPE 1993), (FISCHER & KÖCHLING 1996a/b) wie auch der geplanten Folgenutzung des Standortes (FISCHER & KÖCHLING 1996c/d) definiert. Die Verhältnismäßigkeit einer Sanierungsmaßnahme wird durch die entstehenden Kosten für Sicherungs- bzw. Sanierungsaufwendungen im Zuge eines Variantenvergleiches (siehe auch Kap. 1.2) gängiger Verfahren – u. a. Deponierung, biologische oder chemisch-physikalische bzw. thermische Behandlung, etc. – festgestellt. Dabei muß die Zumutbarkeit der Sanierungsmaßnahme für den Verhaltens- respektive Zustandsstörer unter Berücksichtigung seiner finanziellen Möglichkeiten im Vergleich mit den Erfordernissen des Allgemeinwohles eruiert werden (HMFUEB 1994). Unter Berücksichtigung dieser Fakten wird dann die eigentliche Sanierung am Standort im Rahmen eines Maßnahmenplanes durchgeführt.

Eine Sanierung ist damit als Endglied in einer langen Kette von Auswirkungen der spezifischen Nutzung des einzelnen Standortes zu sehen. Sie soll als Vorgabe einer möglichst vollständigen Wiederherstellung der ursprünglichen ökologischen Gegebenheiten dienen. Insgesamt ist die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen in der dargestellten Weise als sogenannte „End-of-Pipe“-Lösung zu bezeichnen: Ursprungszustand \Rightarrow Errichtung eines Industriestandortes \Rightarrow Produktion \Rightarrow Stilllegung \Rightarrow Sanierung: Wiederherstellung des Ursprungszustandes.

Problematisierung: Aufgrund der o. g. Fakten liegt einem Sanierungsvorhaben im Allgemeinen und Variantenvergleichen im Speziellen ein weitgehend technikorientierter Ansatz zugrunde, der automatisch weder die ökologisch noch die ökonomisch günstigste Strategie gewährleistet. In Abhängigkeit von Umfang und Ablauf des Einzelfalles kann die Realisierung von Altlastensanierungen daher ohne weiteres an ihre technischen und/oder ökonomischen Grenzen stoßen.

Eine entsprechende Problematik wird von BRONDER (1996) in Bezug auf die Emissionsminderung von Luftschadstoffen beschrieben. Da die technische Effektivität von Emissionsminderungsmaßnahmen nicht in einem linearen Zusammenhang mit den zur Umsetzung der Maßnahme notwendigen Investitionen steht, kann im Bereich der größtmöglichen Effektivität, eine Steigerung des Wirkungsgrades um nur 2% zu einer Verdopplung der entsprechenden Investitionskosten führen. In solchen Fällen stößt, laut BRONDER (1996), die „End-of-Pipe“-Strategie an ihre ökonomischen Grenzen und macht daher die Entwicklung neuer Konzepte notwendig.

1.2 Bewertungsinstrumente

Es existieren eine Reihe gängiger Ansätze zur Untersuchung der Umweltauswirkungen von Verfahren und Prozessen. Zu diesen Bewertungsverfahren gehören u. a. die Ökobilanz, der Variantenvergleich und die Umweltbilanz. Nachfolgend werden diese Ansätze näher erläutert:

Ökobilanz: Mittels sogenannten „Ökobilanzen“ werden die verschiedenen stofflichen und energetischen Auswirkungen von Unternehmen sowie Produkten auf die Umwelt analysiert. Dazu setzt sich eine Ökobilanz aus einer Betriebs-, einer Prozeß-, einer Produkt- und einer Standortbilanz zusammen. Von BRONDER (1996) werden die einzelnen Teilbereiche der Ökobilanz eines Unternehmens wie folgt beschrieben:

- Betriebsbilanz: Von der Betriebsbilanz werden auf der einen Seite die zum Betrieb notwendigen Stoffe und Energien und auf der anderen Seite die Produkte sowie die stofflichen und energetischen Emissionen erfaßt (Input-Output-Bilanz).

- **Prozeßbilanz:** Die Prozeßbilanz erfaßt alle innerbetrieblichen Abläufe, Verfahren und Prozesse. Dazu wird eine räumliche, zeitliche sowie produktbedingte Abgrenzung der o. g. Einzelschritte vorgenommen, bei der jeweils die spezifischen Stoff- und Energieflüsse berücksichtigt werden.

- **Produktbilanz:** Mittels der Produktbilanz wird der gesamte Zyklus eines Produktes, von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung, erfaßt. Aus den Stoff- und Energieumsätzen der einzelnen Produktstufen lassen sich ökologische Schwachstellen erkennen.

- **Standortbilanz:** In der Standortbilanz werden die Umweltauswirkungen der Unternehmensstrukturen berücksichtigt. Dazu gehören u. a. Flächenbedarf, Landschaftsveränderungen, Anlagenvermögen, Lagerbestände und ggf. auch Altlasten.

Bei der Bewertung von Produkten werden durch Ökobilanzen primär die ökologischen Auswirkungen berücksichtigt, nicht aber die ökonomischen oder sozialen Aspekte der Produktion. In solchen Fällen stellt die Ökobilanz eine eingeschränkte Form der Produktlinienanalyse dar. Aufgrund unterschiedlicher Bewertungskriterien ist es i. d. R. nicht möglich, zwei unabhängig voneinander bilanzierte Produkte miteinander zu vergleichen. Um diesem Problem zu begegnen, wurde z. B. in der Schweiz ein Bewertungssystem entwickelt, das die Vergleichbarkeit ökologischer Auswirkungen von Produkten ermöglichen soll (BUWAL 1990). Dabei muß aber berücksichtigt werden, daß auch mit der schweizer „Punkte-Systematik“ nur eine subjektive und keine absolute Vergleichbarkeit erreicht werden kann.

Prinzipiell ist die Interpretierbarkeit von Ökobilanzen von der Definition des Erhebungsrahmens abhängig, da die Ausklammerung oder Einbeziehung bestimmter Produktionsfaktoren, wie z. B. die Verlagerung von Produktionsschritten ins Ausland sowie der emissionsintensive Transport von Zwischenprodukten, als Randbedingungen direkt ausschlaggebend für das Ergebnis einer Ökobilanz sein können.

Variantenvergleich: Im Gegensatz zur Ökobilanz ist der Variantenvergleich ein vornehmlich technikorientierter Ansatz zur Bewertung von Verfahrensauswirkungen im Rahmen von Altlastensanierungen, da sich ein Variantenvergleich i. d. R. auf die Gegenüberstellung der technischen Anwendungsgrenzen bzw. Effizienz unterschiedlicher Sanierungsverfahren beschränkt. Indirekt, z. B. bei technisch gleichwertigen Verfahren, fließen jedoch auch ökonomische Aspekte mit in den Vergleich ein.

Generell werden die möglichen Maßnahmen in in-situ und ex-situ Verfahren unterteilt, wobei bei der Gruppe der ex-situ Maßnahmen noch einmal zwischen on-site und off-site Verfahren differenziert wird. Zu den in-situ Verfahren gehören sowohl Sicherungs- als auch die eigentlichen Sanierungsverfahren. Bei den Sicherungsverfahren unterscheidet man aktiv-pneumatische und aktiv-hydraulische Maßnahmen, Einkapselung sowie Immobilisierung. Unter Sanierungsverfahren werden aktiv-pneumatische und aktiv-hydraulische Maßnahmen sowie chemisch-physikalische, biologische und thermische Behandlungsmethoden zusammengefaßt.

Der Vergleich der unterschiedlichen Sanierungs- bzw. Verfahrensvarianten basiert auf den abzureinigenden Stoffen, den jeweiligen Stoffkonzentrationen sowie der Verteilung der Stoffe im Untergrund, den betroffenen Umweltmedien, der angestrebten Reinigungsleistung, der geplanten Folgenutzung und damit verbunden, der für die Sanierung zur Verfügung stehenden Zeit sowie auch dem Platzangebot auf dem zu sanierenden Standort. Können mit verschiedenen Verfahren analoge Sanierungsleistungen erreicht werden, so entscheiden letztlich die monetären Aspekte, welches Verfahren bzw. welche Verfahrenskombination zur Anwendung kommt.

Da in einem Variantenvergleich nur die unmittelbaren Auswirkungen der Verfahren Berücksichtigung finden, kann nicht davon ausgegangen werden, daß durch einen solchen Vergleich automatisch auch die ökologisch sowie ökonomisch sinnvollste respektive günstigste Sanierungsstrategie gewährleistet wird.

Umweltbilanz: Die Umweltbilanz stellt den jüngsten Ansatz zur Bewertung von Altlastensanierungen dar. Hier ist besonders die durch das LFU (1997) in Auftrag gegebene Studie zu erwähnen, in der eine Methode zur Erfassung, Strukturierung und Bewertung von sekundär durch Sanierungsverfahren hervorgerufenen Umweltauswirkungen erarbeitet wurde. Prinzipiell stellt der Ansatz eine Kombination aus Ökobilanz und Variantenvergleich dar.

Generell werden dabei für vordefinierte Teilleistungen bzw. -bereiche verschiedener Sanierungsverfahren, sogenannte Module, Stoff- und Energieverbräuche und damit für die Sanierungsvariante zusätzliche spezifische Umweltbeeinträchtigungen festgelegt. Dazu setzt sich die Umweltbilanz neben den Modulen aus einer Sach- und einer Wirkungsbilanz sowie einer Bilanzbewertung zusammen.

Von der Sachbilanz werden den zur Umsetzung einer Sanierung notwendigen Teilleistungen bzw. Modulen, die spezifischen stofflichen und energetischen Aufwendungen wie auch die aus den Aufwendungen resultierenden Emissionen zugeordnet. Zudem werden die von den Emissionen betroffenen Umweltmedien, der Ressourcenverbrauch, die Abfall- und Lärmentstehung, etc. berücksichtigt (Input-Output-Bilanz).

In die Wirkungsbilanz werden sowohl die am Standort vorliegenden Kontaminanten als auch die, z. B. durch den Einsatz technischer Geräte entstehenden, Umweltauswirkungen einbezogen. Um die verschiedenen Auswirkungen bewerten zu können, müssen diese zusammengefaßt werden. Es wurden die folgenden Wirkungskategorien ausgewiesen:

- Treibhauseffekt
- Versauerung
- Sommersmog
- Humantoxizität Luft (nah/fern)
- Humantoxizität Wasser
- Humantoxizität Boden
- Geruchsbelastung (nah/fern)
- Lärm (nah)

Um verschiedene Stoffe bzw. deren unterschiedliche Wirkungsintensität zu berücksichtigen, werden die berechneten Massen normiert. Für die humantoxische Wirkung von Luftemissionen werden z. B. die entsprechenden Prüfwerte herangezogen.

In der Bilanzbewertung werden die Resultate der Wirkungsbilanzen verschiedener Varianten vergleichend bewertet. Zudem ist es möglich, das Ergebnis einer Wirkungsbilanz dem Bewertungsverfahren der Altlast, ausgedrückt durch den Zustand des Standortes vor und nach der Sanierung, gegenüberzustellen.

Kongruent zu Ökobilanzen ist auch die Interpretierbarkeit von Umweltbilanzen grundsätzlich von der Abgrenzung des Erhebungsrahmens abhängig: auch hier ist die Ausklammerung oder Einbeziehung bestimmter Faktoren, wie z. B. die Emissionen durch Produktion, der Einsatz von Material und Energie wie auch Geräten, als Rahmenbedingungen direkt ausschlaggebend für das Ergebnis der Bilanzierung.

Sonstige: Ein weiterer Ansatz, der wie die Umweltbilanz, die Auswirkungen von Sanierungsverfahren auf die Umwelt berücksichtigt, wurde von SCHAAR (1991) ausgearbeitet. Dabei wurden, nach Entwicklung einer EDV-tauglichen Methodik zur Vorauswahl geeigneter Sanierungsverfahrensgruppen bzw. -kombinationen – entsprechend ihrer zuvor aufgezeigten Einsatzgrenzen – inhaltliche und methodische Ansätze zur Feststellung ihrer Umweltverträglichkeit erarbeitet.

1.2.1 Stand der Forschung

Neben dem in Kap. 1.2 beschriebenen Ansatz der Umweltbilanz existieren bis dato nur wenige Konzepte für integrative Lösungen, die das Ergebnis lokaler Sanierungsmaßnahmen z. B. im Vergleich zu den durch die Sanierung ausgelösten xenotopen Beeinträchtigungen der Umwelt bzw. zu den anfallenden monetären Aufwendungen abschätzen. Entsprechende Untersuchungen sind u. a. von QUANZ & RÖHR (1992), VOGT & WINDISCH (1994), HAFNER (1995) sowie VOGT, WINDISCH & ZANKL (1995) durchgeführt worden.

Von QUANZ & RÖHR (1992) sowie von HAFNER (1995) werden vornehmlich die energetischen Aufwendungen, die im Zuge von Bodenluftsanierungen anfallen, untersucht. Dabei werden von QUANZ & RÖHR (1992) sowohl Angaben über die zur Sanierung von leichtflüchtigen organischen Lösungsmitteln notwendigen Energiebeträge als auch über die zur Aufbereitung der zur Kontaminantenanreicherung notwendigen Aktivkohle gemacht.

Laut QUANZ & RÖHR (1992) sind zur Regeneration von 1 t Aktivkohle ca. 560 l Heizöl notwendig. Durch den Betrieb einer Sanierungsanlage mit einem tatsächlichen Bodenluft-Volumenstrom von 100 m³/h können dem Boden, über den Zeitraum von einem Jahr und bei einer Kontaminantenkonzentration von 1 mg/m³, ca. 0,9 kg organische Lösungsmittel entzogen werden.

Zum Betrieb der Anlage ist dabei ein Energiebedarf notwendig, der 5.300 l Heizöl entspricht. Die Bereitstellung der entsprechenden Energiemenge hat eine Emission von 12.000 kg CO₂, 8 kg SO₂ sowie 17 kg NO_x zur Folge. Für die Reaktivierung der Aktivkohle ist darüber hinaus noch ein Energiebedarf notwendig, der ca. 440 l Heizöl entspricht. Dieser Energiebedarf bedingt wiederum die Emission von ca. 1.000 kg CO₂, 1,5 kg SO₂ sowie 0,7 kg NO_x.

Allerdings werden von QUANZ & RÖHR (1992) keine Angaben über den elektrischen Anschlußwert oder die tägliche Betriebsdauer des Sanierungsgerätes gemacht.

Von HAFNER (1995) wird anhand des Praxisbeispiels einer sich in der Endphase befindenden LHKW-Sanierung (5 mg/m³) ein Energiebedarfswert von 5.000 kWh pro ausgetragenen Kilogramm Tetrachlorethylen konstatiert. Dieser Wert wird exemplarisch den Verbrauchs- und Emissionswerten eines konventionellen Steinkohlekraftwerkes gegenübergestellt. Zur Produktion, der zum Austrag von 1 kg LHKW benötigten elektrischen Energie, ist die Verstromung von 1.700 kg Steinkohle notwendig. Daraus ergibt sich eine Emission von 4.150 kg CO₂, 3 kg SO₂ sowie 3 kg NO_x. Zudem entstehen 1.500 MJ Kühlwasserabwärme.

Diese Angaben beziehen sich nur auf den Betrieb einer Sanierungsanlage mit einem tatsächlichen Bodenluft-Volumenstrom von 150 m³/h, einem elektrischen Anschlußwert von 2,6 kW und einer täglichen Betriebszeit von ca. 11 h. Sie beinhalten daher weder die Energie- bzw. Emissionsmengen, die für die Entsorgung der Kontaminanten bzw. für den Transport und die Aufbereitung der verwendeten Aktivkohle notwendig sind, noch die sonstigen, im Zuge der Sanierung angefallenen energetischen Aufwendungen. Zudem wurde die Bodenluft zu Beginn der Sanierung erst über einen 2"(Zoll)-Bodenluftbrunnen mit einer 5 m Filterstrecke entnommen, der im Laufe der Maßnahme dann auf 5" und eine Filterstrecke von 15 m ausgebaut wurde.

Mit sinkenden LHKW-Konzentrationen in der Bodenluft wird von HAFNER (1995) ein deutlicher Anstieg des Energieverbrauchs zur Rückgewinnung von 1 kg Tetrachlorethylen prognostiziert. Bei einer Fortsetzung der bisherigen Sanierungsstrategie nahe des Sanierungszielwertes von 1 mg LHKW pro m³ Bodenluft, werden zum Austrag der Kontaminanten 17.000 kWh notwendig sein. Entsprechend dem Energiebedarf werden auch die Verbrauchs- und Emissionswerte um das 3,4-fache ansteigen.

Darüber hinaus werden von HAFNER (1995) die monetären Aufwendung für die bereits vier Jahre andauernde Bodenluftabsaugung mit 30.000 DM beziffert. Da die Bodenluftabsaugung aber im Verbund mit der Betreuung weiterer Sanierungsmaßnahmen erfolgte, können die angegebenen Kosten nicht wirklich als Bewertungskriterien herangezogen werden.

Von VOGT & WINDISCH (1994) bzw. VOGT, WINDISCH & ZANKL (1995) wird erstmals ein Konzept vorgestellt und umgesetzt, bei dem neben den energetischen auch die monetären Aufwendungen einer Sanierung als Bewertungskriterien Verwendung finden.

1.2.2 Eigene Vorgehensweise

Der Ansatz der nachfolgenden Untersuchungen unterscheidet sich grundlegend von anderen gängigen Konzepten zur Bewertung von Altlastensanierungen, z. B. der Umweltverträglichkeitsprüfung oder dem Variantenvergleich wie auch der Umweltbilanz.

In der vorliegenden Arbeit werden anhand charakteristischer Verhältnisse sanierungsspezifischer Parameter, erstmals definierte Kennwerterelationen herausgearbeitet, die bei zukünftigen Altlastensanierungen als Bewertungskriterien für die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der Maßnahmen herangezogen werden können.

Da die bisher von VOGT, WINDISCH & ZANKL (1995) ermittelten fallspezifische Relationen (17000 kWh, 7 t CO₂ und 45000 DM pro rückgewonnenem kg CKW) nur Einzelgrößen darstellen, konnte eine Bewertung von Sanierungsmaßnahmen bis zu diesem Zeitpunkt auch nur verbal-argumentativ erfolgen. Wünschenswert, und für detailliertere Untersuchungen notwendig, wäre jedoch eine vergleichende Bewertbarkeit unterschiedlicher Standorte mit Hilfe von – innerhalb eines vergleichbaren Erhebungsrahmens erworbenen – Kenngrößen. Mit der Untersuchung der in verschiedenen Stadien befindlichen Sanierungen ehemaliger Gaswerkstandorte in Hessen (Gießen, Marburg, Weilburg und Wetzlar) wird ein solcher Erhebungsrahmen geschaffen.

Um zu den gewünschten Kennwerterelationen zu gelangen, wird vor dem Hintergrund des Umweltbilanz-Ansatzes die Zusammenstellung und nachfolgend integrierte Bewertung aller signifikanten geogenen, toxikologischen, betriebswirtschaftlichen, legislativen sowie folgenutzungsbezogenen Kenndaten – die für die verschiedenen Sanierungsmaßnahmen charakteristisch sind – durchgeführt. Ein besonderer Schwerpunkt wird dabei auf die geologische Situation des jeweiligen Sanierungsstandortes gesetzt, der über die derzeit praktizierte, erweiterte ingenieurgeologische Betrachtung deutlich hinausgeht. Zudem werden die Gefährdungspfade nicht, wie gegenwärtig üblich, nur durch das Kontaminationspotential am Standort charakterisiert, sondern auch durch die im Zuge der Sanierung ausgelösten xenotopen Umweltbeeinträchtigungen.

Insgesamt bedeutet dies, daß der lokale Nutzen durch die Sanierung am Standort selbst den, durch die Sanierung induzierten überregionalen Beeinträchtigungen – zumeist Luftverunreinigungen sowie dem Kostentransfer auf die Allgemeinheit – abwägend gegenübergestellt wird.

Dabei werden anstelle des momentan gängigen Variantenvergleichs alle Informationen in einen Gesamtkontext im Sinne eines Forderungskataloges an die einzelne Variante gesetzt und zukunftsbezogen in den gesellschaftspolitischen Kontext gestellt.

Dazu werden im ersten Schritt alle verfügbaren Datenquellen der verschiedenen Gaswerkstandorte gesichtet und ausgewertet. Dabei ist zu beachten, daß bei allen Standorten zwar ähnliche geologische und nutzungsbezogene Verhältnisse vorliegen, lokal tritt jedoch ein beträchtliches Spektrum von Variationsmöglichkeiten auf.

So ist z. B. der Kontaminationsgrad, der Sanierungskostenaufwand, die Lage zum Vorfluter sowie der Untergrundaufbau sowohl bei den Einzelstandorten als auch im Vergleich bestimmter Standorte miteinander variabel. Daher werden die, die Gemeinsamkeiten und die Variabilität bestimmenden Parameter, zuerst als Kenngrößen isoliert und ihre Bedeutung für den Standort und die Sanierungsmaßnahme insgesamt bewertet.

Im zweiten Schritt wird ein Kennwerteraster erstellt, in dem die im vorangegangenen Arbeitsschritt ermittelten Größen der einzelnen Kenndatengruppen zusammengestellt werden. Dadurch werden Unterschiede und Gemeinsamkeiten in der Kennwertecharakteristik der einzelnen Standorte sichtbar. Insgesamt wird damit festgestellt, welche Kenngrößen für alle Standorte als Vergleichsgrößen zur Anwendung kommen können. Gleichzeitig wird ermittelt, welche Hilfsparameter, die bei allen Standorten fast gleichrangige Bedeutung haben, zur Verfügung stehen. Zudem wird klar, welche Parameter auf keinen Fall in eine komparative Betrachtung einfließen dürfen. Das Kennwerteraster berücksichtigt dabei u. a. folgende Parameter der einzelnen Sanierungen:

- spezifische Energieverbräuche (in kWh)
- xenotope Emissionen von klimarelevanten Gasen (in kg)
- spezifische Sanierungskosten (in DM)
- abgereinigte bzw. umgewandelte Kontaminanten (in kg)
- aufbereitete Boden- bzw. Grundwassermengen (in t bzw. l)

Im dritten Schritt werden anhand der ermittelten Kennwerte für bestimmte Zeit- bzw. Sanierungsabschnitte spezifische Kennwerterelationen erarbeitet. Mit Hilfe dieser Relationen wird gezeigt, daß sich für einzelne Sanierungsbereiche der verschiedenen Maßnahmen ähnliche Tendenzen abzeichnen.

Letztlich wird anhand der gesamten Datensituation diskutiert, welche Tragweite der konsequente Einsatz der neuen Erkenntnisse für die Umsetzung zukünftiger Sanierung hat.

1.3 Ziele

- 1) Erstmals sollen fallspezifische Kriterien erarbeitet werden, die dazu anleiten können, eine Aussage über die ökologische und ökonomische Effizienz zukünftiger Altlastensanierungen zu treffen. Diese Kriterien sollen am Beispiel der Sanierungen der vier ehemaligen Gaswerkstandorte Gießen, Marburg, Weilburg und Wetzlar herausgearbeitet werden.
- 2) Diejenigen Parameter, die die Gemeinsamkeiten und Variabilitäten der verschiedenen Sanierungsmaßnahmen bestimmen, sollen in Form von Kenndaten isoliert und ihre Bedeutung für den Standort und die Sanierungsmaßnahme insgesamt eingeschätzt werden. Um eine integrative Bewertung der Daten zu ermöglichen, sollen die sanierungsspezifischen Kenndaten in Kenndatengruppen zusammengefaßt werden.
- 3) Anhand der zusammengefaßten Kenndaten sollen für unterschiedliche Zeit- bzw. Sanierungsabschnitte Kennwerte definiert werden. Dabei sollen die Gefährdungspfade nicht, wie bisher üblich, nur durch das Kontaminationspotential am Standort, sondern auch durch die im Zuge der Sanierung ausgelösten (xenotopen) Umweltbeeinträchtigungen charakterisiert werden.
- 4) Um die Gemeinsamkeiten, aber auch die Unterschiede in der Kennwertekarakteristik der einzelnen Standorte sichtbar zu machen, werden die spezifischen Daten in einem Kennwerteraster zusammengestellt. Insgesamt soll damit festgestellt werden, welche Kennwerte für alle Standorte als Vergleichsgrößen zur Anwendung kommen können. Gleichzeitig soll ermittelt werden, welche Hilfsparameter, die bei allen Standorten ungefähr gleichrangige Bedeutung haben, zur Verfügung stehen. Außerdem soll deutlich werden, welche Parameter auf keinen Fall in eine komparative Betrachtung einfließen dürfen.
- 5) Prinzipiell werden aus den Betrachtungen neue Erkenntnisse über die Steuerungsfaktoren der untersuchten Sanierungsmaßnahmen erwartet, die Auswirkungen auf die Durchführung zukünftiger Sanierungsmaßnahmen haben können.

2. Standortüberblick

Die in den folgenden Kapiteln aufgeführten Einzelheiten, stellen die Vorbedingungen für die Erarbeitung einer fundierten Datenbasis dar, auf der dann die Zustandsanalysen der insgesamt durchgeführten Maßnahmen erfolgen (siehe Kap. 3). Die jeweiligen Angaben wurden den in Kap. 5 aufgeführten Gutachten, Berichten und Analyseprotokollen entnommen.

Die im Kap. 3.1.5 aufgeführten Kontaminationskonzentrationen wurden den Gutachten, Berichten und Analyseprotokollen der Erst- und vertiefenden Erkundungen sowie den letztendlich festgelegten Sanierungsplänen des jeweiligen Standortes entnommen. Dies geschah im Hinblick auf die mögliche Vergleichbarkeit der einzelnen Standorte untereinander als auch auf die spätere Verwertbarkeit der einzelnen Datensätze im Rahmen zukünftiger Projekte.

Die Angaben zu den einzelnen Standorten spiegeln immer den Informationsstand bzw. die Situation vor Beginn der eigentlichen Sanierungsmaßnahmen wider. Um die bestmögliche Vergleichbarkeit der einzelnen Standorte zu gewährleisten, erfolgen die Ausführungen innerhalb der einzelnen Kapitel gleichermaßen für alle bearbeiteten Standorte.

Im dritten Schritt werden anhand der ermittelten Kennwerte für bestimmte Zeit- bzw. Sanierungsabschnitte spezifische Kennwerterelationen erarbeitet. Mit Hilfe dieser Relationen wird gezeigt, daß sich für einzelne Sanierungsbereiche der verschiedenen Maßnahmen ähnliche Tendenzen abzeichnen.

Letztlich wird anhand der gesamten Datensituation diskutiert, welche Tragweite der konsequente Einsatz der neuen Erkenntnisse für die Umsetzung zukünftiger Sanierung hat.

1.3 Ziele

- 1) Erstmals sollen fallspezifische Kriterien erarbeitet werden, die dazu anleiten können, eine Aussage über die ökologische und ökonomische Effizienz zukünftiger Altlastensanierungen zu treffen. Diese Kriterien sollen am Beispiel der Sanierungen der vier ehemaligen Gaswerkstandorte Gießen, Marburg, Weilburg und Wetzlar herausgearbeitet werden.
- 2) Diejenigen Parameter, die die Gemeinsamkeiten und Variabilitäten der verschiedenen Sanierungsmaßnahmen bestimmen, sollen in Form von Kenndaten isoliert und ihre Bedeutung für den Standort und die Sanierungsmaßnahme insgesamt eingeschätzt werden. Um eine integrative Bewertung der Daten zu ermöglichen, sollen die sanierungsspezifischen Kenndaten in Kenndatengruppen zusammengefaßt werden.
- 3) Anhand der zusammengefaßten Kenndaten sollen für unterschiedliche Zeit- bzw. Sanierungsabschnitte Kennwerte definiert werden. Dabei sollen die Gefährdungspfade nicht, wie bisher üblich, nur durch das Kontaminationspotential am Standort, sondern auch durch die im Zuge der Sanierung ausgelösten (xenotopen) Umweltbeeinträchtigungen charakterisiert werden.
- 4) Um die Gemeinsamkeiten, aber auch die Unterschiede in der Kennwertcharakteristik der einzelnen Standorte sichtbar zu machen, werden die spezifischen Daten in einem Kennwerteraster zusammengestellt. Insgesamt soll damit festgestellt werden, welche Kennwerte für alle Standorte als Vergleichsgrößen zur Anwendung kommen können. Gleichzeitig soll ermittelt werden, welche Hilfsparameter, die bei allen Standorten ungefähr gleichrangige Bedeutung haben, zur Verfügung stehen. Außerdem soll deutlich werden, welche Parameter auf keinen Fall in eine komparative Betrachtung einfließen dürfen.
- 5) Prinzipiell werden aus den Betrachtungen neue Erkenntnisse über die Steuerungsfaktoren der untersuchten Sanierungsmaßnahmen erwartet, die Auswirkungen auf die Durchführung zukünftiger Sanierungsmaßnahmen haben können.

2. Standortüberblick

Die in den folgenden Kapiteln aufgeführten Einzelheiten, stellen die Vorbedingungen für die Erarbeitung einer fundierten Datenbasis dar, auf der dann die Zustandsanalysen der insgesamt durchgeführten Maßnahmen erfolgen (siehe Kap. 3). Die jeweiligen Angaben wurden den in Kap. 5 aufgeführten Gutachten, Berichten und Analyseprotokollen entnommen.

Die im Kap. 3.1.5 aufgeführten Kontaminationskonzentrationen wurden den Gutachten, Berichten und Analyseprotokollen der Erst- und vertiefenden Erkundungen sowie den letztendlich festgelegten Sanierungsplänen des jeweiligen Standortes entnommen. Dies geschah im Hinblick auf die mögliche Vergleichbarkeit der einzelnen Standorte untereinander als auch auf die spätere Verwertbarkeit der einzelnen Datensätze im Rahmen zukünftiger Projekte.

Die Angaben zu den einzelnen Standorten spiegeln immer den Informationsstand bzw. die Situation vor Beginn der eigentlichen Sanierungsmaßnahmen wider. Um die bestmögliche Vergleichbarkeit der einzelnen Standorte zu gewährleisten, erfolgen die Ausführungen innerhalb der einzelnen Kapitel gleichermaßen für alle bearbeiteten Standorte.

2.1 Auswahlkriterien

Die Ermittlung und Verfügbarkeit der folgenden grundlegenden Angaben ist Voraussetzung für die erfolgreiche Ausarbeitung von exemplarischen Bewertungskriterien:

- Produktionsart
- Spektrum möglicher Kontaminanten
- Aktueller Stand der Produktion
- Lage zum Vorfluter
- Geologische Verhältnisse
- Hydrogeologische Verhältnisse
- Folgenutzung
- Kostendaten

Bereits im Vorfeld der Recherchen wurde deutlich, daß nicht alle o. g. Daten von einer einzigen Sanierungsmaßnahme in der erforderlichen Qualität verfügbar sein würden. Der nächste Schritt bestand daher in der Suche nach einer Auswahl geeigneter Standorte, die hinsichtlich der o. g. Forderungen ergänzbare Basisdaten erbringen würden. Die Entscheidung fiel auf die Sanierungen der vier ehemaligen Gaswerkstandorte **Gießen, Marburg, Weilburg und Wetzlar**.

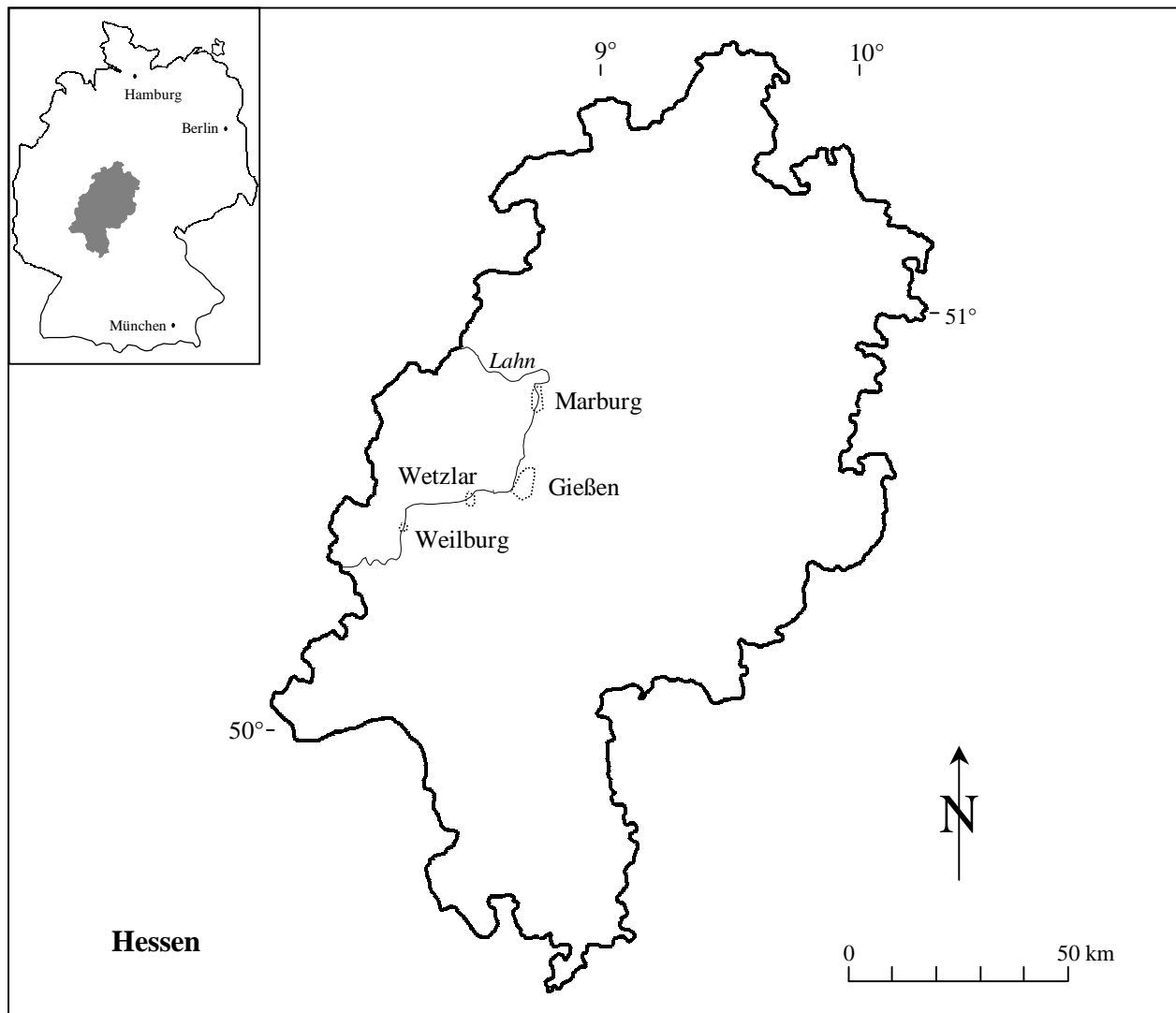


Abb. 1: Lageplan der vier untersuchten Gaswerkstandorte: Gießen, Marburg, Weilburg und Wetzlar.

Die Sanierungen am Standort Wetzlar war zu diesem Zeitpunkt bereits abgeschlossen. Am Standort Weilburg waren entsprechende Maßnahmen bereits angelaufen und die Sanierung am Marburger Standort befand sich noch in der Anfangs-, die Sanierung des Standortes Gießen noch in der Planungsphase.

Unerlässlich war die Ausarbeitung eines Konzeptes, welches eine universelle Verwertbarkeit des Datenmaterials gewährleisten würde. Als Resultat sollte:

- a) die Vergleichbarkeit der einzelnen Standorte miteinander bei ähnlicher Datenqualität gewährleistet sein und
- b) bei differierender Qualität davon ausgegangen werden können, daß ermittelte Teilbereichsergebnisse für alle Standorte als hinlänglich repräsentativ anzusehen sind.

Zudem soll mittels einer transparenten Strukturierung der Daten, die Übertragbarkeit, der für die Sanierungen als charakteristisch ermittelten Kennwerte, auf zukünftige Sanierungsmaßnahmen geschaffen werden.

2.2 Geographische Gegebenheiten

Im Folgenden wird ein Überblick über die geographischen Verhältnisse der einzelnen Gaswerkstandorte gegeben:

Parameter	Einheit	Standort			
		Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Topographische Karte von Hessen Maßstab 1:25.000	Blatt Nr.	5418	5118	5515	5417
Lage des Standortes	R/H	3477440 / 5605440	3483900 / 5631680	3448320 / 5594870	3464540 / 5603690
Mittlere Höhenlage des Standortes	mNN	ca. 160	ca. 182	ca. 135	ca. 150
Größe des ehemaligen Werksgeländes	m ²	ca. 12.000	ca. 17.000	ca. 4.500	ca. 1.500
Vorfluter	–	Lahn (Wieseck)	Lahn	Lahn	Lahn (Dill)
Distanz zum Vorfluter	m	ca. 1000 (ca. 10)	ca. 30	ca. 20	ca. 600 (ca. 700)

Tab. 1: Tabellarische Zusammenstellung der wichtigsten geographischen Daten der einzelnen Standorte.

Gießen: Das ehemalige Gaswerksgelände liegt nahezu im Zentrum der Stadt zwischen der Wieseck, der Straße "Am alten Gaswerk", dem Berliner Platz und der Ostanlage. Das etwa rechteckige Areal des Standortes hat eine Länge von ca. 175 m und nimmt eine Fläche von ca. 12.000 m² ein (GEONORM 1996).

In einer Entfernung von ca. 10 m östlich des Standortes verläuft das Bett der Wieseck, die nach Durchquerung des Stadtzentrums in die Lahn mündet (siehe Abb. 2). Die Wieseck ist laut Untersuchungsergebnissen allerdings nicht als Vorfluter anzusehen (siehe Kap. 3.1.2).

Das Lahntal ist bei Gießen besonders weitläufig ausgedehnt. Der Standorte ist durch die fluviatilen Ablagerungen der Lahn – untergeordnet auch der Wieseck – gekennzeichnet, die an dieser Stelle die paläozoischen Grundgebirgsschichten überdecken. Die Abfolge der quartären Lockergesteine ist durch einen heterogenen Aufbau gekennzeichnet (siehe Kap. 3.1.1).

Marburg: Das ehemalige Gaswerksgelände "Afföllerwiesen" liegt im nördlichen Stadtgebiet, zwischen Lahn und der Bundesstraße B3. Das keilförmige Areal erstreckt sich in Richtung NNW-SSE über eine Länge von ca. 225 m. Die durch das Werksgelände eingenommene Fläche hat eine Ausdehnung von ca. 17.000 m² (UEG 1995a).

Das ursprüngliche Flußbett der Lahn, die dem lokalen Grundwasserstrom als Vorflut dient, liegt ca. 250 m westlich des ehemaligen Gaswerksgeländes. Das Hauptbett der Lahn wurde im Verlauf der Stadtentwicklung mittels eines Wehres künstlich in eine nach Osten vorspringende Kurve verlagert. Dadurch hat sich die Distanz zwischen der Lahn und dem südwestlichen Ende des Gaswerksgeländes bis auf wenige 10er Meter verringert.

Im Bereich der Afföllerwiesen hat sich die Lahn, auf einer Breite von ca. 700 m, in die triassischen Gesteinsserien eingeschnitten und sie mit fluviatilen Ablagerungen quartären Alters überdeckt (siehe Abb. 2). Die Abfolge der Lockergesteine ist in ihrem Aufbau stark inhomogen (siehe Kap. 3.1.1).

Weilburg: Das ehemalige Gaswerksgelände liegt am nordöstlichen Rand des Stadtgebietes, auf der linken Lahnseite direkt an der parallel zur Lahn verlaufenden Straße "Ahäuser Weg". Das Areal umfaßt zwei benachbarte Flurstücke und erstreckt sich in Richtung NNE-SSW über eine Länge von ca. 130 m (IFG/UEG 1994). Durch das gesamte ehemalige Werksgelände wird eine Fläche von ca. 6.000 m² in Anspruch genommen.

Das Flußbett der Lahn, die dem lokalen Grundwasserstrom als Vorflut dient, liegt ca. 20 m westlich des ehemaligen Gaswerksgeländes.

Im Bereich des nördlichen Stadtgebietes hat sich die Lahn relativ steil in die paläozoischen Gesteinsserien eingeschnitten, die Breite die hier durch das Lahntal eingenommen wird, beträgt ca. 200 m. Nach Süden verbreitert sich das Lahntal dann zusehends, im Bereich des Standortes hat es bereits eine Ausdehnung von ca. 700 m erreicht (siehe Abb. 2). Dies ist auf eine Schleife im Flußlauf der Lahn zurückzuführen, die sich ca. 1 km nach Westen erstreckt. An ihr liegt auch das eigentliche Stadtzentrum von Weilburg.

Die paläozoischen Sedimente sind mit fluviatilen Lahnsedimenten quartären Alters, die sich randlich mit Hangschuttablagerungen verzahnen, überdeckt. Die am Standort vorliegenden Lockergesteine sind in ihrer vertikalen und horizontalen Abfolge als heterogen zu bezeichnen (siehe Kap. 3.1.1).

Wetzlar: Das ehemalige Gaswerksgelände liegt im nördlichen Stadtgebiet zwischen der Bahnlinie von Wetzlar nach Herborn und der Herrmannsteiner Straße. Da weder genaue Informationen über die tatsächliche Abmessungen des Sanierungsareals noch entsprechende Pläne des Standortes zur Auswertung zur Verfügung standen, beschränkt sich die für das Sanierungsareal gemachte Flächenangabe von ca. 1.500 m² auf den tatsächlich ausgehobenen Grubenbereich. Das ursprüngliche Produktionsareal des ehemaligen Gaswerks hat allerdings ein wesentlich größeres Areal in Anspruch genommen.

Der Standort liegt ca. 600 m östlich der Lahn und ca. 700 m westlich der Dill, die südwestlich des Standortes in die Lahn mündet. Bedingt durch die lokale Grundwasserabstromrichtung ist allerdings nur die Lahn als Vorfluter anzusehen (siehe Kap. 3.1.2). Durch den Zusammenfluß von Lahn und Dill erreichen die Talauen im Bereich des Standortes eine Breite von ca. 1,5 km (siehe Abb. 2).

Lahn und Dill haben sich im Stadtgebiet in die paläozoischen Einheiten eingeschnitten und diese mit fluviatilen Sedimenten überdeckt. Entsprechend ist der Standort durch quartäre Flußablagerungen geprägt. Die Abfolge der quartären Lockergesteine ist durch einen stark inhomogenen Aufbau gekennzeichnet (siehe Kap. 3.1.1).

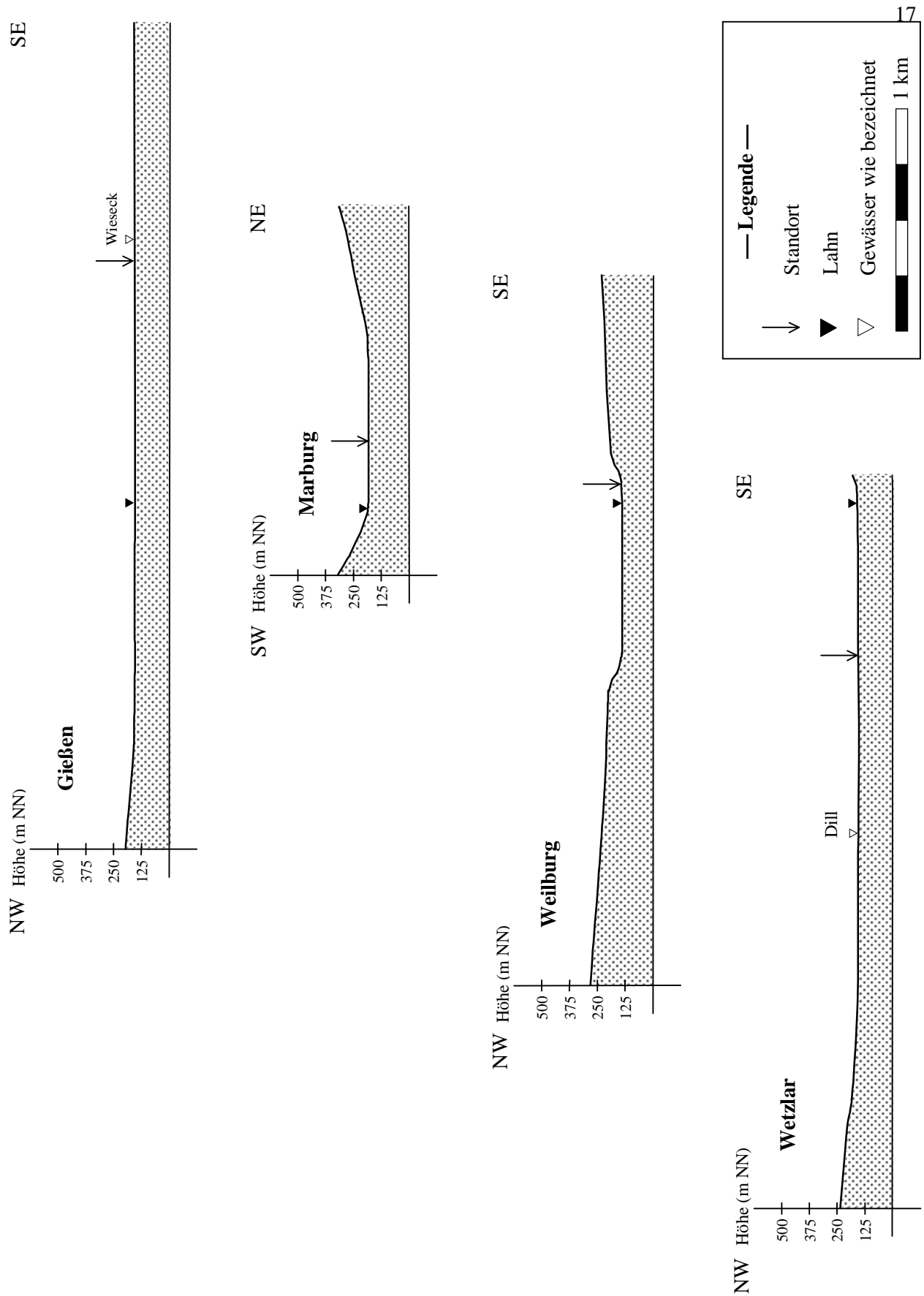


Abb. 2: Darstellung der Lage der einzelnen Standorte in Relation zur Lahn und im Vergleich untereinander. Die Lagepunkte der Standorte beziehen sich immer auf den ungefähren Mittelpunkt der einzelnen Areale.

2.3 Historischer Abriß

Prinzipiell fallen über den Betriebszeitraum eines Gaswerkes, der teilweise mehr als ein Jahrhundert dauern kann, eine Reihe von anlagen- bzw. betriebstechnischen und damit verbunden auch baulichen Veränderungen an. Diese basieren auf den technischen Weiterentwicklungen und Verbesserungen der Gasgewinnung sowie auf einem ständig steigenden Energiebedarf der Bevölkerung (siehe Anhang II). Gleichzeitig sind sie Ausdruck der Standortgebundenheit der Gaswerke sowie eines, über den Betriebszeitraum, zunehmend eingeschränkten Platzangebotes auf den Produktionsarealen.

Letztendlich stehen die betriebstechnischen Veränderungen in direkter Verbindung mit der heutigen Standort- bzw. Kontaminationssituation, da zumindest ein Teil der Kontaminationen bereits im Zuge des Gaswerkbetriebes in den Standortuntergrund gelangt sind.

Um den Umfang der o. g. Veränderungen zu verdeutlichen, wird exemplarisch für das Gaswerk Marburg die Standorthistorie im Detail wiedergegeben (vergl. auch IGU 1995).

Parameter	Einheit	Standorte			
		Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Inbetriebnahme	–	1856	1863	1863	1906
Stilllegung	–	1953	1963	1944	1963
Betriebsdauer	a	97	100	81	57

Tab. 2: Tabellarische Zusammenstellung der Betriebszeiträume der einzelnen Gaswerke. a = Jahre.

Marburg: Das Gaswerk am Standort Marburg war von 1863 bis 1963 in Betrieb.

- 1895 setzte sich der Bestand des Apparatehauses wie folgt zusammen: Maschinenstube, Kondensatorraum mit drei Waschkühlern, einem Teer- und zwei Ammoniakwäschern, zudem vier Schwefelwasserstoffreinigern. Außerdem sind eine Teer- und eine Ammoniakgrube dokumentiert.
- 1899 Inbetriebnahme von zwei neuen Öfen mit einem effizienteren Verfahren. Weiterhin Errichtung eines Ofenhausvorbaus sowie mehrerer Werkstattanbauten und Installation eines zweiten Gasmessers.
- 1901 Einbau eines größeren Teerwäscher und neuen Ofens.
- 1902 Erneuerung der Apparateanlage um einen dritten Wasserkühler, einen vierten Schwefelwasserstoffreiniger sowie Erweiterung der Ammoniakwäscher. Zudem Austausch von zwei alten Niederdruck-Gasbehältern gegen einen Neuen.
- 1903 Errichtung eines zweiten Dampfkessels an der Hinterfront des Ofenhauses sowie verschiedener Belegschaftsräume.
- 1905 Erweiterung der Reinigerhalle in südlicher Richtung und Installation einer Hängebahn zur Beförderung von Reinigermasse auf dem Gelände.
- 1913 Errichtung eines Eiswerkes, das mit Ammoniak als Kühl- bzw. Verdampfungsmittel arbeitete.
- 1933 Umstellung von Teilen der Anlage zur Optimierung der Gewinnung von Teer, Ammoniak und Benzol.
- 1937 Bau einer Koksaufbereitungs- und Schwefelreinigungsanlage. Außerdem Umbau eines Ammoniakwäschers und Erweiterung sowie Erneuerung der Apparateanlage durch einen neuen Gaskühler.
- 1939 Inbetriebnahme eines neuen Kammerofens.
- 1944 Einbau eines neuen Gaskühlers.

- 1945 Zerstörung eines Gasbehälter auf dem südlichen Teil des Gaswerks durch einen Bombenangriff.
- 1946 erfolgte die Inbetriebnahme eines neuen Kammerofens und der Abbau eines Niederdruck-Gasbehälters.
- 1947 wurde erstmals ein Naphthalinwäscher erwähnt. Außerdem erfolgte der Bau einer Druckgasbehälteranlage mit drei Druckbehältern, einer Kompressoranlage sowie von drei Druckreglerstationen.
- 1949 beginnt mit dem Bau eines neuen Kammerofens der systematische Umbau der Ofenanlage, um eine höhere Gaserzeugungsleistung zu erreichen.
- 1950 wurden drei weitere Hochdruck-Gasbehälter aufgestellt. Außerdem erfolgte der Bau von zwei neuen Kammeröfen sowie der Ausbau der Abhitzkesselanlage.
- 1952 Einbau einer Regleranlage im Ofenhaus.
- 1955 Errichtung einer Misch- und Mahlanlage für die Gaskohlen sowie von vier Bunkern für Kohle und zwei Bunkern für Koks.
- 1960 Errichtung einer Tankstelle auf dem südlichen Teil des Gaswerkgeländes, mit je einem unterirdischen Tank für Benzin-, Diesel- und Benzol.
- 1962 Einrichtung von drei Hochdruckbehältern für Teer und Wasser, einer Anlage zur Teerverarbeitung und einer Aufbereitungsmaschine für Reinigungsmasse. Weiterhin Anlage von neuen Teer- und Wassergruben sowie Ausbau der Teerscheidegrube. Stilllegung des veralteten Eiswerks.
- 1963 Stilllegung der Gaserzeugungsanlagen durch den Bau der Ferngasleitung der Ruhrgas AG.
- 1964 Beginn der Demontage der Ofen- und Reinigeranlagen.
- 1966 Beginn des Umbaus des ehemaligen Apparatehauses zur Schaffung von Werkstattträumen.
- 1968 Abbruch des Ofenhauses, der Kohlen-Misch- und Mahlanlage sowie der Kohlen- und Koks-bunker.

3. Zustandsanalysen

Im Rahmen der Zustandsanalysen werden sowohl die Datensituation, die die allgemeine Vorgehensweise repräsentiert, als auch die spezifischen Einzeldaten bzw. Datenrelationen der jeweiligen Sanierungsmaßnahme dargestellt. Dazu werden die zusammengetragenen Informationen in Relation zu einem neuen ganzheitlichen Ansatz gestellt und diskutiert, der u. a. auch die durch die Maßnahmen ausgelösten Umweltbeeinträchtigungen berücksichtigt.

3.1 Ausgangssituation

In den folgenden Kapiteln wird ein zusammenfassender Überblick über die allgemeine Vorgehensweise und Informationssituation verschiedener Bereiche der einzelnen Maßnahmen gegeben. Diese Daten, die den zur Verfügung stehenden Unterlagen (siehe Kap. 5.) entnommen wurden, stellen die Basis für die im Rahmen der Diskussion (Kap. 3.5) vorgenommene Einschätzung sowohl der Vorgehensweisen, Vereinbarungen und Sanierungsergebnisse als auch der daraus abgeleiteten neuen Bewertungskriterien dar.

- 1945 Zerstörung eines Gasbehälter auf dem südlichen Teil des Gaswerks durch einen Bombenangriff.
- 1946 erfolgte die Inbetriebnahme eines neuen Kammerofens und der Abbau eines Niederdruck-Gasbehälters.
- 1947 wurde erstmals ein Naphthalinwäscher erwähnt. Außerdem erfolgte der Bau einer Druckgasbehälteranlage mit drei Druckbehältern, einer Kompressoranlage sowie von drei Druckreglerstationen.
- 1949 beginnt mit dem Bau eines neuen Kammerofens der systematische Umbau der Ofenanlage, um eine höhere Gaserzeugungsleistung zu erreichen.
- 1950 wurden drei weitere Hochdruck-Gasbehälter aufgestellt. Außerdem erfolgte der Bau von zwei neuen Kammeröfen sowie der Ausbau der Abhitzkesselanlage.
- 1952 Einbau einer Regleranlage im Ofenhaus.
- 1955 Errichtung einer Misch- und Mahlanlage für die Gaskohlen sowie von vier Bunkern für Kohle und zwei Bunkern für Koks.
- 1960 Errichtung einer Tankstelle auf dem südlichen Teil des Gaswerkgeländes, mit je einem unterirdischen Tank für Benzin-, Diesel- und Benzol.
- 1962 Einrichtung von drei Hochdruckbehältern für Teer und Wasser, einer Anlage zur Teerverarbeitung und einer Aufbereitungsmaschine für Reinigungsmasse. Weiterhin Anlage von neuen Teer- und Wassergruben sowie Ausbau der Teerscheidegrube. Stilllegung des veralteten Eiswerks.
- 1963 Stilllegung der Gaserzeugungsanlagen durch den Bau der Ferngasleitung der Ruhrgas AG.
- 1964 Beginn der Demontage der Ofen- und Reinigeranlagen.
- 1966 Beginn des Umbaus des ehemaligen Apparatehauses zur Schaffung von Werkstattträumen.
- 1968 Abbruch des Ofenhauses, der Kohlen-Misch- und Mahlanlage sowie der Kohlen- und Koks-bunker.

3. Zustandsanalysen

Im Rahmen der Zustandsanalysen werden sowohl die Datensituation, die die allgemeine Vorgehensweise repräsentiert, als auch die spezifischen Einzeldaten bzw. Datenrelationen der jeweiligen Sanierungsmaßnahme dargestellt. Dazu werden die zusammengetragenen Informationen in Relation zu einem neuen ganzheitlichen Ansatz gestellt und diskutiert, der u. a. auch die durch die Maßnahmen ausgelösten Umweltbeeinträchtigungen berücksichtigt.

3.1 Ausgangssituation

In den folgenden Kapiteln wird ein zusammenfassender Überblick über die allgemeine Vorgehensweise und Informationssituation verschiedener Bereiche der einzelnen Maßnahmen gegeben. Diese Daten, die den zur Verfügung stehenden Unterlagen (siehe Kap. 5.) entnommen wurden, stellen die Basis für die im Rahmen der Diskussion (Kap. 3.5) vorgenommene Einschätzung sowohl der Vorgehensweisen, Vereinbarungen und Sanierungsergebnisse als auch der daraus abgeleiteten neuen Bewertungskriterien dar.

3.1.1 Geologische Verhältnisse

Im Folgenden wird ein Überblick über die geologischen Verhältnisse an den einzelnen Standorten gegeben:

Parameter			Einheit	Standort			
				Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Geologische Karte von Hessen, Maßstab 1:25.000			Blatt-Nr.	5418	5118	5515	5417
Untergrundaufbau	Auffüllung	Art	–	anthropogen	anthropogen	anthropogen	anthropogen
		Alter	–	rezent	rezent	rezent	rezent
		Mächtigkeit	m	0,75 - >4,7	0,5 - 3,4	1,0 - >5,0	2,0 - 5,0
	Locker-gesteine	Art	–	Fluviatile Sedimente	Fluviatile Sedimente	Fluviatile Sedimente	Fluviatile Sedimente
		Alter	–	quartär	quartär	quartär	quartär
		Mächtigkeit	m	8,5 - >12,0	15,0 - >18,0	2,0 - 6,5	7,0 - 14,0
	Festgesteine	Art	–	Sande, Schluffe, Tone	unterer Buntsandstein	Diabas	Schiefer, Tone, Massenkalk
		Alter	–	tertiär	triassisch	devonisch	devonisch
		Mächtigkeit	m	k. A.	100 - 120	k. A.	k. A.
Geologische Profile			–	stark vereinfacht	stark vereinfacht	stark vereinfacht	stark vereinfacht

Tab. 3: Tabellarische Zusammenstellung der geologischen Daten der einzelnen Standorte. Konnten den zur Verfügung stehenden Unterlagen keine entsprechenden Angaben entnommen werden, so wurde dies mit dem Hinweis „k. A.“ kenntlich gemacht.

Gießen: Das Stadtgebiet von Gießen befindet sich am südwestlichen Zipfel der Hessischen Senke, zwischen Vogelsberg und dem östlichen Ende der Lahn-Mulde. Es wird durch eine große Verwerfung, die "Gießener Hauptverwerfung" in einen westlichen und einen östlichen Teil getrennt. Im westlichen Teil stehen weitgehend paläozoische Gesteinsserien an. Dagegen ist der östliche Teil, in dem sich auch der Standort des ehemaligen Gaswerkes befindet, durch eine tertiäre Wechselfolge aus unterschiedlich gefärbten Sanden, Schluffen und Tonen geprägt.

In diese Sedimente hat sich zunächst die Lahn, später und nur untergeordnet auch die Wieseck, großräumig eingeschnitten (siehe Kap. 2.2) und sie mit fluviatilen Ablagerungen quartären Alters überdeckt. Da im Zuge sämtlicher Untersuchungsbohrungen die quartären Schichten nicht durchteuft wurden, kann von einer lokal mehr als 13 m mächtigen Überdeckung ausgegangen werden (GEONORM 1996).

Für den Standort liegen insgesamt 91 Schichtenverzeichnisse vor, die im Zuge von Brunnenbohrungen, Sondierungen sowie Bodenluftuntersuchungen angefallen sind. Die Auswertung dieser Verzeichnisse ergibt für den Aufbau der quartären Flußablagerungen ein stark inhomogenes Bild. Dabei kommt es, neben den vertikalen Schichtwechseln, durch das laterale Auskeilen einzelner Schichten auch zu kleinräumigen horizontalen Wechseln zwischen Schluffen, Sanden und Kiesen. Die wechselnden Ablagerungsbedingungen sind auf die mehrmalige Flußlaufverlagerung der Lahn zurückzuführen.

Auf dem gesamten Areal sind die quartären Ablagerungen von einer zwischen 0,75 m und 4,7 m mächtigen Auffüllungsschicht überdeckt, die aus Sanden sowie Schluffen mit Bauschutt, Ziegel- und Betonstücken sowie Fundamentresten jeweils in wechselnder Zusammensetzung besteht. Zudem sind in den meisten Sondierungen Schlackenbestandteile nachgewiesen worden. Stellenweise treten auch Lagen vollständig schwarz gefärbter Sande auf (GEONORM 1996).

Marburg: Das Stadtgebiet von Marburg befindet sich am Rand der Hessischen Senke im Süden der Frankfurter Bucht. Während westliche Gemeindeteile noch unter dem Einfluß der gefalteten Schichten des Paläozoikums des östlichen Rheinischen Schiefergebirges stehen, ist das Stadtgebiet Marburg von der abgesunkenen Schichtenfolge des Mesozoikums (Buntsandstein) geprägt, in die sich die Lahn etwa in Nord/Süd-Erstreckung eingeschnitten hat.

Die unmittelbare Nähe des Gaswerkstandortes (siehe Kap. 2.2) zur Lahn bedingt dessen aus fluviatilen Ablagerungen bestehenden Untergrundaufbau: neben Sanden mit Kies stehen sandige Schotterbänke an. Anhand von Bohrungen wurden Einschaltungen von Schluff- sowie Moirlinsen nachgewiesen. Zudem treten besonders feinkörnige Hochflutablagerungen, die als tonige Lehme beschrieben werden, in Erscheinung. Die Heterogenität der fluviatilen Sedimente ist auf mehrmalige Flußaufverlagerungen der Lahn zurückzuführen. Im Liegenden folgen Gesteine des Unteren Buntsandsteins.

Bohrungen zufolge führte die Sedimentation der fluviatilen Ablagerungen zu einer Ausgleichung des ehemals deutlichen Reliefs; dies erklärt auch deren lokal schwankende Mächtigkeit. Die im Zuge von Voruntersuchungen erbohrte Mächtigkeit der fluviatilen Ablagerungen lag zwischen 9 m und 15 m (GORLT 1992). Die maximale Mächtigkeit von 15 m mußte bei Aushubarbeiten im Zuge der Sanierung allerdings revidiert werden, da durchgeführte Sondierbohrungen das unterlagernde Festgestein auch in einer Tiefe von 18 m⁽¹⁾ noch nicht angetroffen hatten. Daher ist anzunehmen, daß die quartären Schichten lokal eine vertikale Ausdehnung von über 18 m erreichen können.

Die fluviatilen Ablagerungen werden von einer ca. 3 m mächtigen Schicht anthropogenen Materials überlagert, die sich aus Sand, Steinen, Bauschutt sowie ehemaligen Gaswerk- und Produktionsresten zusammensetzt.

Weilburg: Das Stadtgebiet von Weilburg liegt innerhalb der Lahn-Mulde, südöstlich des Westerwaldes im Rechtsrheinischen Schiefergebirge. Die Großstruktur der Lahn-Mulde wird nach Nordwesten vom Hürre-Zug und im Südosten vom Taunus begrenzt. Innerhalb der Lahn-Mulde liegt das Stadtgebiet im Bereich der Weilburger-Mulde, die sich wiederum im östlichen Teil der Limburg/Weilburger-Oberdevonmulde befindet.

Diese Strukturen sind durch sedimentäre und magmatische Ablagerungen paläozoischen Alters geprägt. In diese Ablagerungen hat sich die Lahn annähernd in Nord/Süd-Erstreckung eingeschnitten. Im Bereich des Gaswerkstandortes stehen vulkanische Ablagerungen (Diabas) devonischen Alters an, die einen nach Osten rasch ansteigenden Hang bilden. Der Diabas ist oberflächennah verwittert. Talseitig erreicht der Verwitterungshorizont eine Mächtigkeit von 0,8 - 1,2 m, wobei sowohl die Verwitterungsintensität (sandiger, kiesiger, und steiniger Zerfall) als auch deren farbliche Ausprägung lokal variieren (IFG & UEG 1994). Über diesem Verwitterungshorizont, der in einer Tiefe von ca. 7,3 - 7,7 m u. GOK angetroffen wurde, folgen unterschiedliche Lockergesteinsablagerungen.

Morphologisch bedingt anfallende Hangschuttsedimente verzahnen sich mit fluviatilen Ablagerungen quartären Alters, die von der in unmittelbarer Nähe verlaufenden Lahn abgelagert wurden (siehe Kap. 2.2). Aufgrund des geringeren Rundungsgrades lassen sich die Hangschuttsedimente hinlänglich von den fluviatilen Ablagerungen unterscheiden.

Bei den fluviatilen Schichten handelt sich um stark sandige, wechselnd schluffige, meist graubraun gefärbte Kiese sowie Schlufflagen mit wechselnden Sand- und Tonanteilen, außerdem um eingeschaltete Lagen sowie Linsen von schluffigen Feinsanden (GORLT 1992). Diese relativ inhomogene Abfolge wird von einer braunen Schicht Auelehm in Form eines sandigen bis stark sandigen, schwach tonigen Schluffs überdeckt.

⁽¹⁾ Freundliche mündliche Mitteilung aus den Stadtwerken Marburg.

Anhand von Sondierbohrungen ist eine Mächtigkeit der fluviatilen Ablagerungen von ca. 3 m festgestellt worden. Das paläozoische Festgestein wurde in zwei talseitigen Kernbohrungen durchschnittlich in einer Tiefe von ca. 6,5 m angetroffen (IFG & UEG 1994).

Das gesamte Areal ist mit einer Auffüllungsschicht wechselnder Mächtigkeit überdeckt. Die Schicht setzt sich vornehmlich aus schluffigen, sandigen, kiesigen sowie steinigen Komponenten zusammen, zudem kommen wechselnde Anteile von Bauschutt sowie Beton- und Schlackeresten vor. Teilweise treten aber auch Auffüllungsbereiche auf, die ausschließlich aus Bauschutt und Betonbruch bestehen.

Wetzlar: Die Stadt Wetzlar befindet sich im Rechtsrheinischen Schiefergebirge innerhalb der Lahn-Mulde, östlich des Westerwaldes.

Das gesamte Stadtgebiet ist durch paläozoische Gesteinsserien geprägt. GORLT (1992) gibt für den tieferen Untergrunderbau des ehemaligen Gaswerkstandortes mitteldevonischen Schalstein und Massenkalk an. Der Schalstein tritt in Form unterschiedlich gefärbter Diabas- oder Keratophyr-Tuffe bzw. Tuffite in Erscheinung und weist einen z. T. erheblichen Kalkgehalt auf. Der Massenkalk kann durch Lösungsvorgänge stellenweise kavernös ausgehöhlt sein.

Da nicht alle Berichte der eigentlichen Sanierungsmaßnahme zur Auswertung zur Verfügung standen, kann von diesen Schichten nur der Massenkalk als sicher vorhanden angesehen werden. Zudem werden im 13. Kurzbericht der UEG (1993a) graue schluffige Tonlagen sowie ein Schwarzschieferhorizont erwähnt, die einem Kalkverwitterungshorizont aufliegen. Die Schichten sind stark tektonisch beansprucht und fallen in östliche Richtung ein.

Die paläozoischen Einheiten werden von quartären Lockergesteinen überdeckt, die eine Mächtigkeit von 7 - 14 m erreichen können. Es handelt sich dabei um fluviatile Sedimente, die von Lahn und Dill abgelagert worden sind (siehe Kap. 2.2). Die Schichten wurden im Zuge mehrmaliger Flußlaufverlagerungen der beiden Flüsse sedimentiert. Die Ablagerungen sind quartären Alters und zeigen auf den ersten Blick eine verhältnismäßig deutliche Zweiteilung; im unteren Teil finden sich vornehmlich gröbere (Talkiese) und im oberen Teil feinere (Auelehme) Sedimente (GORLT 1992).

Bei den gröberen Lockersedimenten handelt es sich zumeist um Kiese mit einem wechselnden Sand- und Schluffanteil sowie um linsenartig eingeschaltete Sande, schluffige Sande oder Schluffe. Innerhalb der Linsen treten auch die verschiedenen Übergangsstufen in Erscheinung. Bei den auflagernden feinen Lockersedimenten handelt es sich um tonigen Schluff oder schluffigen Ton mit wechselnden Sandanteilen. Wie am Standort Weilburg ist auch am Standort Wetzlar offensichtlich, daß der Aufbau der quartären Lockersedimente lateral und vertikal stark variiert und somit ebenfalls als inhomogen zu bezeichnen ist.

Der Auffüllungshorizont, der die quartären Lockersedimente überdeckt, besteht zum größten Teil aus sandigen, schluffigen und steinigen Massen (GORLT 1992). Diese weisen ebenfalls einen nicht unbeachtlichen Anteil an Bauschutt in Form von Ziegelresten auf. Des Weiteren finden sich erhebliche Mengen an Fundamentresten verschiedener Baupochen (UEG 1993a).

3.1.2 Hydrogeologische Verhältnisse

Nachfolgend wird ein Überblick der hydrogeologischen Verhältnisse an den einzelnen Standorten gegeben:

Gießen: Aufgrund der kurzen Distanz zwischen Standort und Wieseck (sie verläuft im Bereich des Standortes nahezu Ost-West), sollte diese eigentlich als Vorfluter anzusehen sein. Dies ist allerdings nicht der Fall, da die lokale Grundwasserabstromrichtung nicht, wie anzunehmen, zur Wieseck hin gerichtet ist, sondern stattdessen in südsüdwestlicher bzw. südwestlicher Richtung von der Wieseck weg verläuft. Da die Wieseck ihr Bett dennoch bis in die Lockersedimente eingeschnitten hat, in denen auch der obere Grundwasserhorizont liegt, kann von einer Verbindung zwischen Wieseck und dem oberen Grundwasserstockwerk ausgegangen werden. Möglicherweise speist die Wieseck im Bereich des Standortes auch in das Grundwasser ein (GEONORM 1996).

Parameter		Einheit	Standort			
			Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Grundwasserflurabstand (unter Geländeoberkante)		m	ca. 4,4	ca. 3,3	ca. 3,5	ca. 2,0
Freie Grundwasseroberfläche (unter Geländeoberkante)		m	3,5 - 3,8 *	–	3,4 - 3,7	–
Amplitude der jahreszeitlichen GWS-Schwankungen		m	$\varnothing \pm 1,0$	$\varnothing \pm 1,0$ *	$\varnothing \pm 0,5$ *	k. A.
Anzahl der Grundwasserleiter		–	2	2	2	2
Oberer Grundwasser- leiter	Art	–	Poren-GWL leicht gespannt	Poren-GWL	Poren-GWL leicht gespannt	Poren-GWL
	Mächtigkeit	m	4,2 - 4,4	9,0 - >18,0 *	2,0 - >5,0 *	7,0 - 14,0 *
	kf-Wert	m/s	$3,8 \times 10^{-5} - 4,9 \times 10^{-5}$	ca. 10^{-5} *	ca. 10^{-4}	k. A.
Trennschicht	Mächtigkeit	m	1,5 - 1,8	–	–	–
	kf-Wert	m/s	$10^{-7} - 10^{-8}$	–	–	–
Unterer Grundwasser- leiter	Art	–	Poren-GWL	Kluft-GWL	Kluft-GWL	Kluft-GWL
	Mächtigkeit	m	mind. 2,5 - 2,8	ca. 100	k. A.	k. A.
	kf-Wert	m/s	k. A.	ca. 10^{-6}	k. A.	k. A.
Lokale Richtung des Grundwassergefälles		–	SW	S	W	NE
Grundwassergefälle		–	0,00182 - * 0,00238	0,00323 - * 0,00741	ca. 0,01 *	nicht ermittelbar
Grundwasserabstands- geschwindigkeit (va)		m/a	10,9 - * 18,4	36,5 - 73,0	ca. 160 *	nicht ermittelbar
Vorfluter		–	Lahn (Wieseck)	Lahn	Lahn	Lahn (Dill)
Distanz zum Vorfluter		m	ca. 1.000 (ca. 10)	ca. 30	ca. 20	ca. 600 (ca. 700)

Tab. 4: Tabellarische Zusammenstellung der hydrogeologischen Daten der einzelnen Standorte (GORLT 1992, GEONORM 1996, IFG 1993, IGU 1995, UEG 1995a). Die mit * gekennzeichneten Werte waren nicht in den ausgewerteten Unterlagen aufgeführt und mußten daher selbst abgeleitet werden. Die für die Berechnung der Abstandsgeschwindigkeiten benötigten nutzbaren Porenvolumen wurden HÖLTING (1996) entnommen. Aufgrund der inhomogenen Zusammensetzung der grundwasserführenden Lockergesteine, wurde allen Berechnungen ein nutzbares Porenvolumen von 20% zugrunde gelegt. GWL = Grundwasserleiter, kf-Wert = Durchlässigkeitsbeiwert.

Im Oberstrombereich des Standortes werden die Grundwasserverhältnisse anhand zweier Brunnen, im Abstrombereich durch einen Brunnen kontrolliert. Diese Brunnen wurden auch zur Bestimmung der Grundwassergeleichen herangezogen.

Anders als an den anderen Standorten sind im Gießener Fall beide Grundwasserleiter in Form von Porenleitern ausgebildet. Beide haben sich in den gröberklastischen Partien der von Lahn und untergeordnet auch der Wieseck abgelagerten Sedimente eingestellt (siehe Kap. 3.1.1).

Die durchschnittliche Grundwasserabstandsgeschwindigkeit beläuft sich am Standort auf ca. 15 m pro Jahr. Bei dieser Geschwindigkeit erreicht der Grundwasserstrom – rein rechnerisch – den Vorfluter innerhalb eines Zeitraumes von ca. 24.334 Tagen. Veranschlagt man für ein Jahr 365 Tage und für einen Monat 31 Tage, so entspricht dieser Zeitraum etwa 66 Jahren und 8 Monaten.

Marburg: Für den Standort ist die Lahn als Vorfluter anzusehen. Während im Bereich des Standortes die Gesteine des tektonisch beanspruchten Buntsandsteins als Kluftgrundwasserleiter zu verstehen sind, fungiert das quartäre Auflager als Porengrundwasserleiter (GORLT 1992). Die quartären Lockergesteine wurden von der Lahn abgelagert (siehe Kap. 3.1.1).

Das Fehlen einer natürlichen Barriere zwischen diesen beiden Grundwasserstockwerken, bedingt eine Wasserwirksamkeit in vertikaler Richtung, woraus die Kontaminationsproblematik abzuleiten ist (siehe Kap. 3.1.5).

Im Bereich des Standortes ist die vorrangige Grundwasserabstromrichtung annähernd Nord-Süd gerichtet (UEG 1995a); damit verläuft sie am Standort einerseits parallel und andererseits nahezu senkrecht zur lokalen Fließrichtung des Vorfluters (siehe Kap. 2.2).

Die durchschnittliche Grundwasserabstandsgeschwindigkeit beträgt ca. 55 m pro Jahr. Bei dieser Geschwindigkeit legt der Grundwasserstrom die Strecke vom Standort zum Vorfluter in einem Zeitraum von ca. 200 Tagen zurück.

Weilburg: Für den Standort ist ebenfalls die Lahn als Vorfluter anzusehen. Äquivalent zu dem Standort Marburg existieren am Standort Weilburg zwei Grundwasserstockwerke in Form eines Poren- und eines Kluftgrundwasserleiters. Für den Porengrundwasserleiter sind vor allem die gröberkörnigen Anteile (Kiese, Sande) der fluviatilen Sedimente sowie der Schuttablagerungen von Bedeutung. Dagegen hat sich entlang der Trennfugen des paläozoischen Festgesteinskörpers, der Kluftgrundwasserleiter ausgebildet. Die beiden Grundwasserleiter sind auch am Standort Weilburg nicht durch eine Barriere getrennt (siehe Kap. 3.1.1).

Zudem kommt es auf den feinkörnigen Schluff- und Tonlinsen/-lagen zur Ausbildung von Schichtwasservorkommen.

Die ca. 3 m mächtigen bindigen Deckschichten führen zur Ausbildung eines leicht gespannten Grundwasserspiegels. Die freie Grundwasseroberfläche pendelt sich annähernd auf dem Niveau der Wasseroberfläche des Vorfluters ein (GORLT 1992). Somit herrschen, je nach Wasserstand der Lahn, effluente (zur Lahn hin) oder influente (von der Lahn weg) Grundwasserabflußverhältnisse (IFG & UEG 1994).

Legt man der Zeitdauerberechnung die am Standort vorherrschende Grundwasserabstandsgeschwindigkeit von mehr als 0,4 m pro Tag zugrunde, so erreicht der Grundwasserstrom den Vorfluter theoretisch in weniger als 46 Tagen.

Wetzlar: Aufgrund der geographischen Situation (siehe Kap. 2.2) kommen am Standort sowohl die Dill als auch die Lahn als Vorfluter in Betracht. Aufgrund der Grundwasserabstromrichtung ist allerdings nur die Lahn als der eigentliche Vorfluter anzusehen. Analog zu den bereits beschriebenen Standorten Marburg und Weilburg, sind am Standort Wetzlar auch ein Poren- und ein Kluftgrundwasserleiter ausgebildet.

Gemäß der anderen Standorte wird auch hier der Porengrundwasserleiter von den grobkörnigen Anteilen (Kiese, Sande) der fluviatilen Ablagerungen bestimmt (siehe Kap. 3.1.1). Entsprechend zu Weilburg ist auch in Wetzlar entlang der Trennfugen der paläozoischen Festgesteine, der Kluftgrundwasserleiter ausgebildet. Allerdings weist der Kluftgrundwasserleiter, je nach Ausbildung in Schalstein oder Massenkalk stark unterschiedliche hydraulische Eigenschaften auf (GORLT 1992).

Prinzipiell erfolgt der Grundwasserabstrom zur Lahn hin, allerdings nicht, wie eigentlich zu erwarten, in südlicher bzw. südwestlicher, sondern in nordöstlicher Richtung. Dies trifft Messungen zufolge auch für die niederschlagsreichen Jahreszeiten zu. Aufgrund der geographischen Lage des Standortes (siehe Kap. 2.2) kann allerdings nicht ganz ausgeschlossen werden, daß sich die Abstromrichtung nicht doch in Abhängigkeit von den Niederschlagsverhältnissen, und somit auch in Verbindung mit den Pegelständen von Lahn und Dill ändert.

3.1.3 Probenahme

Nachfolgend wird ein Überblick über die an den einzelnen Standorten erfolgte Beprobung der verschiedenen Umweltmedien gegeben:

Gießen: Zur Erhebung der am Standort vorliegenden Kontaminationsverhältnisse, wurden insgesamt 88 Proben der verschiedenen Umweltmedien entnommen und auf mögliche Kontaminationen hin analysiert. Davon entfielen 45 auf Boden-, 28 auf Bodenluft-, 4 auf Raumluft- und 11 auf Grundwasserproben. Die Probenahmen und Durchführung der Analysen fanden im Rahmen der 1. orientierenden (1989) sowie der erweiterten orientierenden Erkundung (1996) statt.

Marburg: Im Zuge der Erstuntersuchung (1991) sowie der verdichtenden (1993) und der ergänzenden Untersuchung (1994/95) des Standortes wurden insgesamt 313 Bodenproben genommen, von denen 128 auf unterschiedliche Kontaminanten hin analysiert wurden. Außerdem wurden 85 Grundwasser- und 22 Bodenluftanalysen sowie eine Raumluftanalyse durchgeführt.

Weilburg: Im Rahmen der Ersterkundung des Standortes wurden 2 Kernbohrungen sowie 2 Schürfe durchgeführt sowie 18 Rammkernsondierung abgeteuft. Die Anzahl der Rammkernsondierungen wurde im Zuge der ergänzenden Untersuchung (IFG 1993) um 18 auf insgesamt 36 Stück erweitert. Im Rahmen der Untersuchungsmaßnahmen wurden insgesamt 57 Bodenproben gewonnen, mittels derer 23 Feststoff- und 4 Eluatanalysen auf gaswerkspezifische Kontaminationen durchgeführt wurden. Zudem wurden 13 Bodenluft-, 14 Grundwasser- und eine Schichtwasserprobe analysiert (IFG & UEG 1994).

Wetzlar: Insgesamt standen Analyseprotokolle von 821 Boden- und 761 Grundwasserproben zur Auswertung zur Verfügung. Es ist jedoch von einer weit höheren Anzahl untersuchter Proben auszugehen, da nicht alle Sanierungsunterlagen zur Auswertung herangezogen werden konnten. Die verschiedenen Umweltmedien wurden, neben den Analysen auf die Summenangaben der in den Kap. 3.1.5 dargestellten Stoffgruppen, jeweils auch auf diverse Einzelstoffe hin untersucht. Beispielsweise wurden im Rahmen der PAK-Analysen insgesamt 24 Einzelstoffe und im Rahmen der BTX-Analysen 13 Einzelstoffe analysiert (siehe Anhang V).

Anders als bei den vorangegangenen Standorten mußte für die Ermittlung der Maximalkonzentrationen am Standort Wetzlar auf Unterlagen der laufenden Sanierung zurückgegriffen werden, da weder die Gutachten der erkundenden Untersuchungen noch der letztendlich festgelegte Sanierungsplan zur Auswertung zur Verfügung standen.

3.1.4 Chemische Analytik

Nachfolgend wird ein Überblick über die, an den einzelnen Standorten durch die chemische Analytik erfaßten, Kontaminationen der verschiedenen Umweltmedien gegeben. Dabei wurden nicht alle Einzelstoffe berücksichtigt. Eine Übersicht sämtlicher Einzelstoffe, auf die die verschiedenen Umweltmedien an den einzelnen Standorten analysiert wurden, können dem Anhang V entnommen werden.

Parameter	Standort			
	Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	X	X	X	--
Σ Cyanidverbindungen	X	X	X	X
Kohlenwasserstoffe nach DEV H18	--	X	X	--
Σ Phenole (Phenolindex)	X	X	X	--
Σ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	X	X	X	X
Umweltmedium: Boden	X (analysiert)		-- (nicht analysiert)	

Tab. 5: Tabellarische Zusammenstellung der durch die chemische Analytik abgedeckten Kontaminantengruppen für **Feststoffproben** des Umweltmediums Boden. Aufgrund der unzusammenhängenden Datenlage wurde ein Stoff auch dann als nicht analysiert eingeordnet, wenn in den zur Verfügung stehenden Unterlagen keine entsprechenden Angaben vorgefunden wurden.

Parameter	Standort			
	Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	X	X	--	--
Σ Cyanidverbindungen	X	X	X	X
Kohlenwasserstoffe nach DEV H18	--	--	--	--
Σ Phenole (Phenolindex)	X	X	--	--
Σ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	X	X	--	--
Umweltmedium: Boden	X (analysiert)		-- (nicht analysiert)	

Tab. 6: Tabellarische Zusammenstellung der durch die chemische Analytik abgedeckten Kontaminantengruppen für **Eluatproben** des Umweltmediums Boden. Aufgrund der unzusammenhängenden Datenlage wurde ein Stoff auch dann als nicht analysiert eingeordnet, wenn in den zur Verfügung stehenden Unterlagen keine entsprechenden Angaben vorgefunden wurden.

Parameter	Standort			
	Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	X	X	X	--
Σ Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	--	X	--	--
Umweltmedium: Bodenluft	X (analysiert)		-- (nicht analysiert)	

Tab. 7: Tabellarische Zusammenstellung der durch die chemische Analytik abgedeckten Kontaminantengruppen für das Umweltmedium **Bodenluft**. Aufgrund der unzusammenhängenden Datenlage wurde ein Stoff auch dann als nicht analysiert eingeordnet, wenn in den zur Verfügung stehenden Unterlagen keine entsprechenden Angaben vorgefunden wurden.

Parameter	Standort			
	Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	X	X	X	X
Σ Cyanidverbindungen	X	X	X	X
Kohlenwasserstoffe nach DEV H18	X	X	X	--
Σ Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	--	X	--	X
Σ Phenole (Phenolindex)	X	X	X	--
Σ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	X	X	X	X
Umweltmedium: Grundwasser	X (analysiert)		-- (nicht analysiert)	

Tab. 8: Tabellarische Zusammenstellung der durch die chemische Analytik abgedeckten Kontaminantengruppen für das Umweltmedium **Grundwasser**. Aufgrund der unzusammenhängenden Datenlage wurde ein Stoff auch dann als nicht analysiert eingeordnet, wenn in den zur Verfügung stehenden Unterlagen keine entsprechenden Angaben vorgefunden wurden.

Gießen: Die Untersuchungen der Bodenproben auf gaswerksspezifische Stoffe basierten auf den "Leitlinien für die Feststellung und Sanierung von Altlasten" des Hessischen Abfallwirtschafts- und Altlastengesetzes – im Folgenden „Altlasten-VwV“ genannt – sowie auf dem Erlaß "Orientierungswerte zur Entsorgung von belasteten Böden" – im Folgenden „Entsorgungs-VwV“ genannt. Von den 63 Sondierungen, die im Zuge der erweiterten orientierenden Erkundung abgeteuft wurden, waren ca. 30% ohne organoleptische Auffälligkeiten (Teer- oder Naphthalingeruch, Schlackebestandteile oder auffallende Verfärbungen). Die Beurteilung der Eluatanalysen von Bodenproben sowie die, sich aus den Grundwasseranalysen ergebenden Resultate, erfolgt aufgrund der Verwaltungsvorschrift zu § 77 des Hessischen Wassergesetzes – im Folgenden „Grundwasser-VwV“ genannt (GEONORM & KNOBLICH 1996). Sämtliche Einzelstoffe, auf die die Umweltmedien am Standort analysiert wurden, können dem Anhang V entnommen werden.

Marburg: Die Analysenergebnisse der Bodenproben wurden aufgrund des Niederländischen Leitfadens zur Bodenbewertung und Bodensanierung (1989) bzw. dessen Neufassung (1992) – im Folgenden „Holland-Liste“ genannt (vgl. FISCHER & KÖCHLING 1996a) – bewertet. Die Grundwasseranalysen wurden ebenfalls aufgrund der Holland-Liste sowie der Grundwasser-VwV bewertet. Da nicht von einem Eintrag kontaminierten Grundwassers in das ca. 1 km weiter nördlich gelegene Trinkwasserschutzgebiet auszugehen ist, basiert die Beurteilung der Grundwasseranalysen auch nicht auf der Trinkwasserverordnung (UEG 1995a).

Weilburg: Zur Beurteilung der Analysenergebnisse sowie zur Festlegung der Eingreif- und Sanierungsziel- bzw. Sanierungsschwellenwerte wurde am Standort Weilburg die Grundwasser-VwV herangezogen; zudem fanden die Holland-Liste, die "Bewertungskriterien für die Beurteilung kontaminierter Standorte in Berlin" – nachfolgend „Berliner-Liste“ genannt – sowie die Zusammenstellung "Vorläufige Sanierungswerte - LCKW, BTEX, PAK, Benzinkohlenwasserstoffe vom Dez. 1992 für Hamburg" – nachstehend „Hamburger-Liste“ genannt (vgl. FISCHER & KÖCHLING 1996d) – Berücksichtigung. Letztere wurde vornehmlich dann herangezogen, wenn der Wert für einen Stoff (z. B. Cyanid) nicht in der Grundwasser-VwV aufgeführt war (IFG & UEG 1994).

Wetzlar: Zu den Beurteilungsgrundlagen der Analysenergebnisse können an dieser Stelle keine Aussagen gemacht werden, da weder der eigentliche Sanierungsplan noch sonstige Unterlagen, aus denen entsprechende Angaben hervorgegangen wären, zur Auswertung zur Verfügung standen.

3.1.5 Kontaminationsverhältnisse

Nachfolgend sind die an den verschiedenen Standorten angetroffenen Kontaminationsverhältnisse der verschiedenen Umweltmedien dargestellt:

Parameter	Standort			
	Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	n. n.	551,000	0,460	–
Σ Cyanidverbindungen	820,000	57.500,000	1.600,000	244,000
Kohlenwasserstoffe nach DEV H18	–	7.860,000	520,000	–
Σ Phenole (Phenolindex)	n. n.	724,000	110,000	–
Σ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	2.630,000	15.266,000	7.200,000	27.126,000
Einheit	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Umweltmedium: Boden				

Tab. 9: Tabellarische Zusammenstellung der an **Feststoffproben** des Umweltmediums Boden festgestellten Kontaminationen. Die angegebenen Werte stellen die am jeweiligen Standort festgestellte **Maximalkonzentration** der einzelnen Substanzgruppen dar. Fehlende Angaben (–) beruhen entweder auf unterschiedlichen Analysenspektren oder auf nicht vorhandenen Angaben. Der Vermerk „n. n.“ (nicht nachweisbar) bedeutet, daß der ermittelte Wert unter der analytischen Nachweisgrenze lag. Die Einheitenangabe „TS“ steht für Trockensubstanz und bezieht sich auf die Bruttoanalysen der Bodenproben.

Parameter	Standort			
	Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	n. n.	16,984	–	–
Σ Cyanidverbindungen	1,800	31,000	2,700	0,257
Kohlenwasserstoffe nach DEV H18	–	–	–	–
Σ Phenole (Phenolindex)	n. n.	0,943	–	–
Σ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	0,150	14,699	–	–
Einheit	mg/l Eluat	mg/l Eluat	mg/l Eluat	mg/l Eluat
Umweltmedium: Boden				

Tab. 10: Tabellarische Zusammenstellung festgestellter Kontaminationen an **Eluatproben** des Umweltmediums Boden. Die angegebenen Werte stellen die am jeweiligen Standort festgestellte **Maximalkonzentration** der einzelnen Substanzgruppen dar. Fehlende Angaben (–) beruhen entweder auf unterschiedlichen Analysenspektren oder auf nicht vorhandenen Angaben. Der Vermerk „n. n.“ (nicht nachweisbar) bedeutet, daß der ermittelte Wert unter der analytischen Nachweisgrenze lag. Die Einheitenangabe „Eluat“ steht für die Ermittlung der potentiell aus den Bodenproben in Lösung gehenden Kontaminantenkonzentration.

Parameter	Standort			
	Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	< 0,001	5,533	0,58	2,156
Σ Cyanidverbindungen	1,2	1,29	0,09	0,68
Kohlenwasserstoffe nach DEV H18	< 0,05	1,73	0,4	–
Σ Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	–	0,005	–	0,023
Σ Phenole (Phenolindex)	0,2	0,007	2,4	–
Σ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	7,258	7,834	1,2	1,474
Einheit	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Umweltmedium: Grundwasser				

Tab. 11: Tabellarische Zusammenstellung festgestellter Grundwasserkontaminationen. Die angegebenen Werte stellen die am jeweiligen Standort festgestellte **Maximalkonzentration** der einzelnen Substanzgruppen dar. Fehlende Angaben (–) beruhen entweder auf unterschiedlichen Analysenspektren oder auf nicht vorhandenen Angaben.

Parameter	Standort			
	Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	n. n.	175,516	34,590	–
Σ Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	–	21,674	–	–
Einheit	mg/m³	mg/m³	mg/m³	mg/m³
Umweltmedium: Bodenluft				

Tab. 12: Tabellarische Zusammenstellung der Bodenluftkontaminierung mit leichtflüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen sowie leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen. Die angegebenen Werte stellen die am jeweiligen Standort festgestellte **Maximalkonzentration** der beiden Substanzgruppen dar. Fehlende Angaben (–) beruhen entweder auf unterschiedlichen Analysenspektren oder auf nicht vorhandenen Angaben. Der Vermerk „n. n.“ (nicht nachweisbar) bedeutet, daß der ermittelte Wert unter der analytischen Nachweisgrenze lag.

Gießen: Gemäß der Altlasten-VwV wurden in verschiedenen Bodenproben Überschreitungen der Prüfwerte – nachfolgend auch „N-Werte“ genannt – und Eingreifwerte – nachfolgend auch „E-Werte“ genannt – (siehe Kap. 3.1.7), sowohl durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (diverse Einzelstoffe und PAK als Summenwert) als auch durch die Summe an Cyanidverbindungen festgestellt.

Die in den fünf Bodenproben der 1. orientierenden Erkundung festgestellten Kontaminationen mit Phenol und aromatischen Kohlenwasserstoffen konnte in der erweiterten orientierenden Erkundung nicht bestätigt werden.

Schon an dieser Stelle soll hervorgehoben werden, daß bei den untersuchten Bodenproben die Maximalwerte der Trockensubstanzanalysen und die Maximalwerte der Eluatanalysen immer von verschiedenen Proben stammen.

Im Rahmen der 1. orientierenden Erkundung wurden insgesamt 25 Bodenluftmeßstellen eingerichtet und einmalig beprobt. Laut KNOBLICH et al. (1993) ergaben die Analysen der Proben keine Hinweise auf eine Kontamination der Bodenluft mit leichtflüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen. Im Rahmen der erweiterten orientierenden Untersuchung erneute Analysen von 3 Bodenluftproben sowie von 4 Raumluftproben durchgeführt. Die Analysen der Proben, die den für 40 Stunden ungelüfteten Kellerräumen der sich auf dem Gelände befindenden Stadtverwaltung entnommen wurden, bestätigten das Ergebnis der 1. Erkundung (GEONORM & KNOBLICH 1996).

Im Rahmen der 2. Grundwasserbeprobungsphase (1995) wurde eine Kontaminationen des Grundwassers mit Zink (0,27 mg/l) festgestellt, die allerdings nicht als gaswerkspezifisch eingestuft wurde.

Der Hauptanteil der in Tab. 11 aufgeführten Maximalkonzentration für die Σ PAK-Kontamination am Standort wird mit mehr als 99% durch Naphthalin (7,2 mg/l von 7,258 mg/l) gestellt. Die Ausbreitung der gaswerkspezifischen Kontaminanten über den Wasserpfad wird anhand eines im Abstrombereich gelegenen Brunnen kontrolliert (siehe Kap. 3.1.2).

Marburg: Zur Auswertung standen insgesamt 35 Analyseprotokolle von Bodenproben zur Verfügung. Es wurden Überschreitungen der C-Werte der Holland-Liste für Bodenproben durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX), Cyanidverbindungen (CN), Phenole sowie Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW nach H18) und Schwermetalle festgestellt. Bei den Schwermetallen wurden nur Kontaminationen durch Blei (max. 990 mg/kg TS) sowie Quecksilber (max. 33 mg/kg TS) nachgewiesen.

Auch am Standort Marburg werden als Hauptquelle für die Kontaminationen Teer und Teeröl in Phase angenommen. In der Peripherie der Gasreinigungsanlage (siehe Anhang I) wurden zudem erhebliche Mengen hexacyanoferrathaltiger Gasreinigermasse festgestellt, die in diesem Bereich oberflächennah angereichert vorliegen (UEG 1995a).

Die Analysen der Bodenluftproben ergab für den Bereich des Gaskühlers sowie der ehemaligen Tankstelle eine Kontamination durch aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX) sowie durch leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW), deren Herkunft offensichtlich auch auf den Gaswerksbetrieb zurückzuführen ist (siehe Anhang I und III). Zudem wurden am Standort Marburg eine Raumluftprobe aus der Telefonzentrale der angrenzenden Johanniter-Unfallhilfe auf LHKW und BTX analysiert. Dabei wurden jedoch keine derartigen Kontaminationen nachgewiesen (UEG 1995a).

Die hydrochemischen Untersuchungen wiesen eine Kontamination des Grundwassers durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), andere aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX) sowie durch Benzol auf. Die Kontaminationen beschränken sich allerdings jeweils auf den südwestlich gelegenen Abstrombereich des Gasreiniger- und Apparatehauses sowie der Teer- und Ammoniakgrube.

Im Zuge der Grundwasseruntersuchungen wurde nur in einer der 15 beprobten Grundwassermeßstellen, neben dem Grundwasser, Teeröl in Phase gefördert. Aufgrund der Beprobungs- und Analyseergebnisse wurde geschlußfolgert, daß die Teerölvorräte innerhalb der wassergesättigten Zone nur relativ gering sind und auch nur relativ kleinräumig vorliegen (UEG 1995a). Die Analysen der Grundwasserproben aus zwei im Buntsandstein (siehe Kap. 3.1.1) verfilterten Tiefbrunnen ergaben keine Hinweise auf etwaige Kontaminationen.

Weilburg: Im Rahmen der verschiedenen Erkundungen wurden Trockensubstanzanalysen von Bodenproben u. a. auf Phenole durchgeführt. Dabei erfolgten die Analysen auf potentielle Kontaminationen durch Phenole insgesamt nach DEV H16-1. Die Analysen auf wasserdampfflüchtige Phenole sowie auf den Phenolindex erfolgten dagegen nach DEV H16-2, wobei die Destillation nach DIN 38409 durchgeführt wurde. Die Analysen auf den Phenolindex sowie auf Phenole insgesamt im Eluat wurden gemäß der Altlasten-VwV nach DEV H16-1 durchgeführt.

Die Analysen auf Cyanidverbindungen erfolgten nach DIN 38405 T13-1. Die dabei festgestellten Konzentrationsunterschiede zwischen den Maximalwerten an fest gebundenen (1.600 mg/kg im Feststoff bzw. 2,7 mg/l im Eluat) und den leicht freisetzbaren (7,5 mg/kg im Feststoff bzw. 0,2 mg/l im Eluat) Cyanidverbindung ergeben sich aus der nahezu vollständigen Festlegung der Cyanidverbindungen in Form schwer löslicher respektive stabiler Eisenhexacyanoferrate.

Da der weitaus größte Teil der untersuchten Bodenproben Gehalte von < 100 mg/kg TS Gesamt-Cyanid aufwies, wird der Wert von 1.600 mg/kg TS als punktuelle Kontamination durch abgelagerte Filtermassen interpretiert (IFG & UEG 1994).

Bei der Analyse auf Kohlenwasserstoffe nach DEV H18 ergaben sich Werte zwischen 20 und 520 mg/kg TS. Der Zulässigkeit des gegenüber der Grundwasser-VwV geringfügig höheren Wertes als der dort angegebenen 500 mg/kg TS soll bei der Sanierungsdurchführung mit zusätzlichen Eluatanalysen Rechnung getragen werden.

Die Analyse von Bodenproben auf lipophile Stoffe erfolgte gemäß DEV H17, dabei wurde eine Maximalkonzentration von 3.400 mg/kg TS festgestellt. Eine Schwermetallkontaminationen des Areals konnte anhand der chemischen Analytik ausgeschlossen werden.

Innerhalb des Auffüllungshorizontes wurde Teer- und Teeröl in Phase angetroffen, entsprechend sind diese, aber auch ähnliche Kontaminantenreservoirs in den anderen Bodenpartien als die vorherrschenden Kontaminationsquellen zu sehen (IFG & UEG 1994).

Der Nachweis von nur geringen Mengen an aromatischen Kohlenwasserstoffen im Boden (0,46 mg/kg TS) wird auf die Flüchtigkeit dieser Stoffe zurückgeführt.

Von den insgesamt 13 analysierten Bodenluftproben wiesen 9 eine Stoffkonzentration des Summenwertes für BTX von < 1 mg/m³ auf (IFG & UEG 1994). Da am Standort alte Bausubstanz erhalten werden sollte, wurden verschiedene Bereiche des entsprechenden Gebäudes u. a. auf gaswerkspezifische Kontaminationen hin untersucht, spezielle Raumluftuntersuchungen auf aromatische Kohlenwasserstoffe wurden dabei allerdings nicht durchgeführt (IFG 1994a).

Prinzipiell erfolgte die Beurteilung der Analysenergebnisse der Wasserproben unter Berücksichtigung der Möglichkeit zur Einzelentscheidung in der Grundwasser-VwV.

Neben den in Tab. 11 aufgeführten Analyseergebnissen wurden Grundwasserproben auch auf lipophile Stoffe gemäß DEV H17 untersucht; die dabei ermittelte Maximalkonzentration betrug 84 mg/l (IFG & UEG 1994). Außerdem wurden bei Analysen von Grundwasserproben folgende Stoffe sowie deren Konzentrationen festgestellt: PAK (4,1 mg/l), BTX (0,1 mg/l), Ammonium (83 mg/l), Sulfat (340 mg/l) sowie leicht freisetzbare Cyanidverbindungen (< 0,005 mg/l).

Analysen von Schichtwasserproben erbrachten ebenfalls deutliche Kontaminationswerte, z. B. wurden in einer solchen Probe die folgenden Maximalkonzentrationen ermittelt:

Stoffgruppe	Konzentration
BTX	0,1 mg/l
KW (nach DEV H18)	35,0 mg/l
PAK	4,1 mg/l

Tab. 13: Analysenergebnisse von Schichtwasserproben des Standortes Weilburg.

Wetzlar: Bei der Analyse auf Cyanidverbindungen in Bodenproben wurde nur in einer einzigen Probe ein, gegenüber dem in Tab. 9 genannten Maximalwert, um das mehr als 7-fache höherer Wert von 1.796,4 mg/kg TS Gesamt-Cyanid festgestellt (UEG 1993d). Die Probe stammt allerdings von einem stark blau verfärbten Horizont aus einem Werksbereich, auf dem Luxmasse abgelagert worden war und der später mit Garagen überbaut worden ist. Die eigentlichen Filtermassen, die diesen Horizont unterlagern, weisen dagegen nur einen Wert von 217 mg/kg TS Gesamt-Cyanid auf.

Neben den o. g. Analysen auf die Summe an Cyanidverbindungen wurden für den Aushub aus diesem Bereich noch jeweils zwei Eluatanalysen auf die Summe an Cyaniden sowie auf leicht freisetzbare Cyanidverbindungen durchgeführt. Für die leicht freisetzbaren Cyanidverbindungen wurde dabei ein Maximalwert von 0,031 mg/l festgestellt, der andere Wert war mit 0,015 mg/l ca. 50% niedriger (UEG 1993e). Die Eluatanalysen wurden an Probenmaterial durchgeführt, das bei der Auskoffierung von Filtermasse in einem Container zwischengelagert wurde. Neben diesen Angaben über Eluatanalysen von Bodenproben lagen keine weiteren Angaben vor.

Am Standort Wetzlar ist es zu einer nachhaltigen Kontamination der anstehenden devonischen Schwarzschiefer gekommen. Aufgrund des Schichteinfallens ist Teer entlang der Kluftgefüge des Gesteins in den tieferen Untergrund gedrungen (UEG 1992h). Im Zuge der Sanierung wurde dieser Schadenskern bis auf eine Menge von ca. 72 kg PAK entfernt. Da neben der Kontamination durch PAK keine andere, z. B. durch Cyanide, nachgewiesen wurde, wäre die vollständige Entfernung nur mit einem unverhältnismäßigen Mehraufwand möglich gewesen (UEG 1993a).

Analog dem in Tab. 9 angegebenen Maximalwert von 27.126 mg/kg TS PAK – der Wert stellt einen Einzelwert dar – stammen die ebenfalls eher seltenen Analyseergebnisse von >1.000 und <10.000 mg/kg TS, i. d. R. von gröberklastischen Bodenproben (Kies). Noch höhere Kontaminationskonzentrationen wurden nur bei der Analyse von Proben von einem Teerflatschen (157.229 mg/kg TS PAK) und von einem Teerklumpen (30.821 mg/kg TS PAK) ermittelt (UEG 1993b). Für die Auffüllungs- und Bau-schuttmassen (siehe Kap. 3.1.1) ergab die Auswertung der Analyseprotokolle Werte von 73,35 mg/kg TS PAK und 32,6 mg/kg TS Cyanidverbindungen.

Diese Werte können jedoch nicht vorbehaltlos als Maximalwerte eingestuft werden, da innerhalb der Auffüllung u. a. Teerölimprägnationen als auch zähplastische Teerlinsen angetroffen wurden (UEG 1992e). Die Werte der Tab. 9 beziehen sich daher fast ausschließlich auf reine Bodenproben oder zumindest auf Mischproben aus Boden und Auffüllung. Analysen von Bodenproben aus dem Bereich der Gasbehälter ergaben nur vereinzelt Überschreitungen des behördlicherseits festgelegten Sanierungsrichtwertes von 100 mg/kg PAK (siehe Kap. 3.1.7) (UEG 1993c).

Es lagen keine Analysenergebnisse von Bodenluftuntersuchungen zur Auswertung vor. Allerdings wurden im Rahmen der Arbeitsschutzmaßnahmen mindestens 272 Umgebungsluftproben mittels Passivsammlung gewonnen und auf insgesamt 13 leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (siehe Anhang V) sowie auf Naphthalin als Einzelstoff analysiert.

Der für die Summe an analysierten BTX nachgewiesene Maximalwert lag bei 1,334 mg/m³ (UEG 1992g).

Im Zuge der Grundwasseruntersuchungen wurden mindestens 761 Proben auf Kontaminationen durch unterschiedliche Stoffe hin analysiert (siehe Anhang V). Da nicht alle Gutachten und Analyseprotokolle zur Auswertung zur Verfügung standen, wurden die in Tab. 11 aufgeführten Werte mit dem Status von Maximalwerten versehen (UEG 1992a-d,f). Neben den in der Tabelle angegebenen Werten der Grundwasseranalysen wurde zudem ein Maximalwert von 1,235 mg/l Naphthalin als Einzelstoff festgestellt (UEG 1992a).

3.1.6 Sanierungsareale

Nachfolgend sind die, aufgrund der an den verschiedenen Standorten angetroffenen Kontaminationsverhältnisse (siehe Kap. 3.1.5), ausgewiesenen Sanierungsareale näher erläutert:

Gießen: Aufgrund der o. g. Erkundungen des Standortes sowie der dabei ermittelten Kontaminationsverhältnisse wurden drei Bereiche, A, B und C ausgewiesen, die als potentielle Sanierungsareale zu sehen sind (GEONORM & KNOBLICH 1996). Die Bereiche umfassen überwiegend ehemalige Produktionsstätten (siehe Anhang I und III):

A - Kesselhaus und Teergrube;

B - Freifläche zwischen Ofenhaus, Gasbehälter und Wieseck;

C - Apparateraum, anschließende Freifläche, Reinigerhaus sowie Uhren- und Reglerraum.

Marburg: Bereits im Rahmen der Erstuntersuchung wurden signifikante Bodenkontaminationen durch BTX, PAK sowie Cyaniden festgestellt (IGU 1995). Im Zuge der verdichtenden Erkundung wurden diese Kontaminationen erneut bestätigt.

Zudem wurden wesentliche Kontaminationen durch MKW, Phenole sowie Schwermetalle festgestellt, die nach der Ersterkundung zunächst nur als punktuell eingestuft worden waren (UEG 1995a). Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden drei Sanierungsareale A (ca. 2.200 m²), B (ca. 400 m²) und C (ca. 200 m²) ausgewiesen, die hauptsächlich ehemalige Produktionsstätten umfassen (siehe Anhang I und III):

- A - Apparatebaus und Belegschaftsräume, östlich angrenzende Freifläche mit Benzoltank, Teer- und Ammoniakgrube, Reinigeranlage und Lager für Reinigermasse, weitere Lagerhalle, Anlagen verbindende Leitungen und andere Leitungswege;
- B - Teerlagerung;
- C - Wanne des Hochdruckgasbehälters.

Für alle drei Sanierungsareale wurde zudem eine Abschätzung der als Kontaminantenquellen anzusehenden Teerölvorräte und deren Hauptinhaltsstoffe (PAK) vorgenommen:

Sanierungsareal	Teer / Teeröl	PAK
A	50 t	16 t
B	12 t	4 t
C	6 t	2 t

Tab. 14: Bei der Berechnung der potentiell am Standort vorliegenden Kontaminantenkontingente wurden, für die verschiedenen Sanierungsareale, jeweils sowohl die wassergesättigte als auch die wasserungesättigte Bodenzone berücksichtigt (UEG 1995a).

Im Rahmen der Mengenabschätzung wurden, neben der Imprägnierung der Auffüllung, folgende Möglichkeiten der Ausbreitung von Kontaminanten im Untergrund berücksichtigt:

- a) Porenraumsättigung und Imprägnierung längs vertikaler Sickerwege (Porenleiter)
- b) Porenraumsättigung und Imprägnierung längs lateraler Abflußwege (Kluftleiter)
- c) Porenraumsättigung und Imprägnierung im GW-Schwankungsbereich
- d) Oberflächenbenetzung des Korngerüsts durch Teerinhaltstoffe
- e) Beladung der Humusfraktion mit Teerinhaltstoffen
- f) Lösungsbefruchtung des Grundwassers

Weilburg: Aufgrund der relativ geringen Größe des ehemaligen Gaswerkgeländes sowie der anhand der verschiedenen Erkundungen des Standortes festgestellten Kontaminationssituation, wurde nur ein Sanierungsareal von ca. 800 m² ausgewiesen (IFG 1994b). Das Areal umfaßt die folgenden ehemaligen Produktionsbereiche (siehe Anhang I und III):

- Ofenhaus, Werkstatt und Aufenthaltsraum, Teer- und Ammoniakgrube, Sauger, Regler und Teerscheider, Motorenraum, Uhren- und Druckregler, Gasreinigeranlage, angrenzende Freiflächen sowie Gasbehälterstandplatz.

Wetzlar: Am Standort Wetzlar wurde ein ursprüngliches Sanierungsareal, mit einer Größe von ca. 1.000 m², ausgewiesen. Bedingt durch erst im Zuge der Aushubarbeiten augenscheinlich gewordener Kontaminationsverläufe im Bereich diverser Produktionsbereiche, mußte das Areal weiter ausgedehnt werden. Aufgrund der ermittelten Aushubkubaturen (siehe Kap. 3.3.1) sowie der in der Rechnungslegung aufgeführten durchschnittlichen Aushubtiefe von ca. 12 m ergibt sich eine Arealgröße von ca. 1.500 m².

Infolge der unvollständigen Datenlage konnte nur zum Teil rekonstruiert werden, welche ehemaligen Produktions- und Anlagenteile sich ursprünglich innerhalb des Sanierungsareals befunden haben (siehe Anhang I und III):

- Cyanidfilterbecken, Gasabfüllanlage, Gasspeicherbecken, Freiflächen, Schieberkammer, Teergrube.

3.1.7 Behördliche Vorgaben

Im Folgenden wird eine Übersicht der für die verschiedenen Standorte vorgeschlagenen Eingreif- und Sanierungszielwerte gegeben:

Parameter			Standort			
			Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)			–	15	15	–
Benzol			–	–	–	–
Cyanid (gesamt)			50	–	150	100
Cyanid (leicht freisetzbar)			–	5	5	–
Kohlenwasserstoffe nach DEV H18			–	–	–	–
Phenolindex (wdfl.)			–	–	15	–
Σ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	ungesättigte Bodenzone	EPA + MN	20	100	150	100
		TVO		–	–	
	gesättigte Bodenzone	EPA + MN		150	150	
		TVO		10	–	
Einheit			mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Umweltmedium: Boden			B ₍₁₊₂₎	B ₍₁₊₂₎	B ₍₁₊₂₎	B ₍₁₊₂₎

Tab. 15: Tabellarische Zusammenstellung der, für die einzelnen Standorte, vorgeschlagenen **Eingreifwerte** für dem Bodenaushub auf Flächen ohne (B₍₁₎) bzw. mit (B₍₂₎) späterer Versiegelung. wdfl. = wasserdampfflüchtig; EPA = Environmental Protection Agency; MN = Methylnaphthaline; TS = Trockensubstanz.

Parameter			Standort			
			Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)			–	2 5	2	–
Benzol			–	< 1 < 1	< 1	–
Cyanid (gesamt)			–	– –	20	–
Cyanid (leicht freisetzbar)			–	1 1	1	–
Einheit			mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Umweltmedium: Boden			B ₍₁₊₂₎	B ₍₁₎ B ₍₂₎	B ₍₁₊₂₎	B ₍₁₊₂₎

Tab. 16a: Tabellarische Zusammenstellung der, für die einzelnen Standorte, vorgeschlagenen **Sanierungszielwerte** für dem Bodenaushub auf Flächen ohne (B₍₁₎) bzw. mit (B₍₂₎) späterer Versiegelung. TS = Trockensubstanz.

Parameter			Standort				
			Gießen	Marburg		Weilburg	Wetzlar
Kohlenwasserstoffe nach DEV H18			–	–	–	–	–
Phenolindex (wdfl.)			–	–	–	2	–
Σ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	ungesättigte Bodenzone	EPA + MN	–	10	20	50	–
		TVO	–	1	4	–	–
	gesättigte Bodenzone	EPA + MN	–	20	50	50	–
		TVO	–	2	5	–	–
Einheit			mg/kg TS	mg/kg TS		mg/kg TS	mg/kg TS
Umweltmedium: Boden			B ₍₁₊₂₎	B ₍₁₎	B ₍₂₎	B ₍₁₊₂₎	B ₍₁₊₂₎

Tab. 16b: Tabellarische Zusammenstellung der, für die einzelnen Standorte, vorgeschlagenen **Sanierungszielwerte** für dem Bodenaushub auf Flächen ohne (B₍₁₎) und mit (B₍₂₎) späterer Versiegelung. wdfl. = wasserdampf-
flüchtig; EPA = Environmental Protection Agency; MN = Methylnaphthaline; TS = Trockensubstanz.

Gießen: Sowohl die Beprobung der einzelnen Umweltmedien, als auch die resultierenden Analyse-
ergebnisse wurden bis zum Zeitpunkt der Datenerhebung von gutachterlicher Seite als nicht ausreichend
erachtet. Daher existiert z. Z. auch kein endgültiger Sanierungsplan weder mit vorgeschlagenen noch mit
fachbehördlich festgelegten Eingreif- oder Zielwerten für die Sanierung des Standortes.

Die in der Tab. 15 aufgeführten Parameter und Werte sind identisch mit jenen, die zur Beurteilung der
Kontaminationen der verschiedenen Umweltmedien herangezogen wurden. Sie basieren, laut Gutachten
der erweiterten orientierenden Erkundung (GEONORM & KNOBLICH 1996), auf der Altlasten-VwV (1994)
sowie der Entsorgungs-VwV (1992). Es wurden Überschreitungen der in der Altlasten-VwV angeführten
Prüf- und Eingreifwerte nachgewiesen (siehe Kap. 3.1.5). Zusätzlich zu den in Tab. 15 aufgeführten
Überschreitungen, wurden am Standort Gießen die Eingreifwerte für Benzo(a)pyren (1 mg/kg TS) und
Naphthalin (5 mg/kg TS) überschritten. Die Eingreifwerte für aromatischen Kohlenwasserstoffe (BTX)
sowie für Phenole wurden unterschritten.

Die gesonderte Beurteilung der Eluatanalysen von Bodenproben aufgrund der Grundwasser-VwV, be-
ruht laut GEONORM & KNOBLICH (1996) auf dem Fehlen einer bodenspezifischen Bewertungsgrundlage.
In der nachfolgenden Tab. 17 sind die zur Beurteilung herangezogenen Werte aufgeführt:

Parameter	Sanierungsprüfwert	Sanierungsschwellenwert
Cyanid (leicht freisetzbar)	0,01 mg/l	0,05 mg/l
Phenolindex	0,02 mg/l	0,1 mg/l
Σ BTX	0,12 mg/l	0,12 mg/l
Σ PAK	0,002 mg/l	0,002 mg/l

Tab. 17: Angaben aus GEONORM & KNOBLICH (1996).

Die Beurteilung der Grundwasserkontaminationen stützt sich ebenfalls auf die Grundwasser-VwV
(1991) (siehe auch Kap. 3.1.5). Im Abstrombrunnen wurden Überschreitungen der N-Werte für die folgen-
den Stoffe festgestellt:

Parameter	Stoffkonzentration	Sanierungsprüfwert
Benzo(a)pyren	0,0011 mg/l	0,0002 mg/l
Fluoranthen	0,0013 mg/l	0,0002 mg/l
Zink	0,27 mg/l	0,2 mg/l

Tab. 18: Angaben aus GEONORM & KNOBLICH (1996). Zur Vollständigkeit sind auch die Eingreifwerte der Grundwasser-VwV für die Stoffe angegeben.

Die Überschreitungen wurden allerdings als nicht gaswerkspezifisch eingestuft, sondern einer anzunehmenden innerstädtischen Hintergrundbelastung zugeschrieben. Ein möglicher Sanierungsbedarf des Grundwassers wurde aber aufgrund des mangelnden Kenntnisstandes über die Mobilisierbarkeit der Kontaminanten sowie der Aussagekraft der gewonnenen Schöpfproben (siehe auch Kap. 3.1.5) nicht ausgeschlossen (GEONORM & KNOBLICH 1996).

Für die analysierten Bodenluft- und Raumlufthproben entfiel die Vorgabe von Bewertungskriterien, da keine Kontaminationen durch leichtflüchtige Stoffe festgestellt worden sind (siehe auch Kap. 3.1.5).

Marburg: Die in Tab. SS aufgeführten Eingreifwerte werden durch folgende Gegebenheiten begründet (UEG 1995a):

- PAK Kontaminationen der wassergesättigten Bodenzone mit > 300 mg/kg TS (Porenraumfüllungen), die ausschließlich durch Aushub saniert werden können, liegen am Standort in nur relativ geringem Umfang vor.
- Die Selbstreinigung des Untergrundes durch die mikrobielle Abbaubarkeit der Kontaminanten bzw. der hydraulischen Sanierbarkeit von PAK Konzentration < 150 mg/kg TS nach Entfernung der eigentlichen Kontaminationsherde, stellt sich als ökologisch und ökonomisch sinnvoll dar.
- Die Eingreifwerte für PAK basieren auf der Berücksichtigung von insgesamt 26 Kongeneren (Einzelstoffen), die sich aus der Kombination der US-EPA Angaben (16 Einzelstoffe) und den in der Hamburger-Liste berücksichtigten Methylnaphthalinen (10 Einzelstoffe) ergeben.
- Eine Absicherung gegen Teerphasen erfolgt mittels der Festlegung des Eingreifwertes von > 10 mg/kg TS für die 6 Einzelstoffe der Trinkwasserverordnung.
- Der Abhängigkeit des biotischen Abbaus vom Kohlenstoffgehalt der ungesättigten Bodenzone sowie der theoretischen Zugriffsmöglichkeit wird mittels eines reduzierten Eingreifwertes von 100 mg/kg TS Rechnung getragen.
- Der Eingreifwert für Cyanide wird auf die leicht freisetzbaren Verbindungen beschränkt, da Hexacyanoferrate (Filtermassen) nur räumlich begrenzt in Erscheinung treten, die Stoffgruppe zudem visuell gut ansprechbar ist und kaum eine toxikologische Gefährdung erkennen läßt.
- Der Eingreifwert von 15 mg/kg TS für die Benzolalkyle (BTX) berücksichtigt insgesamt 13 Kongenere, damit steht er in direkter Relation zu den für 9 Kongenere veranschlagten 11 mg/kg TS.

Die für einen Standort festgelegten Eingreifwerte bedingen nicht nur die letztendliche Größe der Sanierungsareale (siehe Kap. 3.1.5), sondern sie sind zudem maßgebend für den Mindestaufwand einer Sanierungsmaßnahme.

Die in Tab. SS aufgeführten Sanierungszielwerte werden dagegen durch folgende Gegebenheiten begründet (UEG 1995a):

- Aufhebung des Gefährdungspotentials, bei gleichzeitiger Berücksichtigung unterschiedlicher Geländeenutzungen und Bodenkompartimente.
- Gewährleistung der "Verhältnismäßigkeit" der Standortsanierung.
- Optimierung des Einsatzes der zur Verfügung stehenden Geldmittel mittels einer überschlägigen Kosten-Nutzen-Analyse.
- Die Zielwerte für die leicht freisetzbaren Cyanide sowie die aromatischen Kohlenwasserstoffe (BTX) entsprechen einschlägigen Vorgaben.

- Die erhöhten Sanierungszielwerte für PAK in der gesättigten Bodenzone und unter nicht versiegelten Flächen werden mit der Erfassung von 26 Einzelstoffen und einer Reduzierung des Gefährdungspotentials durch die Versiegelung gerechtfertigt. Für die nicht versiegelten Flächen wird ein entsprechend niedriger Zielwert (10 mg/kg TS) festgelegt.

Ausgehend davon, daß die festgelegten Zielwerte – vor allem für PAK – u. a. die Menge an zu behandeltem Aushub und somit auch den variablen Sanierungsaufwand bestimmen, wurde der Ansatz einer Kosten/Nutzen-Analyse einzig für den Standort Marburg realisiert. Dies geschah in Form einer Aufwands/Nutzen-Funktion, bei der die geschätzten Sanierungskosten in Relation zu den zu erwartenden Aushubmassen mit verschiedenen Kontaminationskonzentrationen gesetzt wurden. Das Funktionsminimum gibt dabei den optimalen Einsatz der zur Verfügung stehenden Mittel wieder (UEG 1995a).

Dieser Ansatz basiert auf der Erkenntnis, daß die Untergrundkontaminationen im Wesentlichen auf die Anwesenheit von Teer sowie Teeröl sowie deren Hauptinhaltsstoffen (PAK) in den verschiedenen Bodenpartien zurückzuführen sind. Entsprechend würde der maximale Nutzen der Sanierung in der vollständigen Beseitigung aller Teerölvorräte bzw. PAK-Kontaminationen am Standort bestehen. Um dies zu erreichen würden ca. 22.500 m³ Boden ausgekoffert werden müssen (siehe Kap. 3.1.5). Laut UEG (1995a) ist dies auch insofern plausibel, da für Stoffe mit kanzerogener Wirkung, wie den PAK, keine Dosis/Wirkungsbeziehung besteht, sondern diese konzentrationsunabhängig als toxisch gelten.

Die Auswertung der Laboranalysen ergab, daß ca. 50 Vol% der potentiellen Aushubchargen PAK-Gehalte von <5 mg/kg TS aufweisen und daß über 80% der kontaminationsverursachenden Teerölvorräte in Bodenhorizonten mit PAK-Gehalten von >150 mg/kg TS angetroffen wurden (UEG 1995a). Aus diesen Fakten wurde folgendes geschlußfolgert (UEG 1995a): „Mit einer Senkung der Sanierungsziele wird demnach einerseits zunehmend weiterer Boden zur kostenwirksamen Entsorgung/Behandlung gebracht, andererseits nimmt die zusätzlich entfernte PAK-Menge stetig ab. Sehr niedrige Sanierungsziele sind somit ineffizient, da ein relativ geringer Zusatznutzen (zusätzlich entfernte PAK-Masse) durch einen relativ hohen Zusatzaufwand (zusätzlich behandlungsbedürftige Bodenmasse) erzeugt wird. Ebenso ist auch die Beschränkung der Entsorgung nur auf die am stärksten belasteten Fraktionen ineffizient, da die Einsparungen gegenüber den hohen Fixkosten nur bescheiden bleiben und letztere damit nicht mehr gerechtfertigt wären. Die entsprechende Aufwand/Nutzen-Analyse zeigt, daß auch für den Standort Marburg das Funktionsminimum bei den vorgeschlagenen PAK-Gehalten von etwa 20-50 mg/kg vorliegt. Diese erfüllen damit die Anforderungen an einen effizienten Mitteleinsatz.“

Bodenpartien, die Kontaminationen unterhalb der Eingreifwerte aufweisen, im Zuge der Sanierungsdurchführung aber dennoch ausgekoffert werden müssen, sollen vor Ort wieder eingebaut werden können, wenn die Sanierungszielwerte ebenfalls unterschritten werden (UEG 1995a). Eine separate Grundwasser-sanierung ist für den Standort z. Z. nicht geplant. Trotzdem werden im Zuge der tiefgründigen Aushubmaßnahmen, bedingt durch die im Grundwasser nachgewiesenen Kontaminationen, Wasserhaltungs- und somit auch Aufbereitungsmaßnahmen notwendig sein. Nachfolgend sind die dafür vorgeschlagenen Rahmenwerte aufgeführt:

Parameter	Analysevorgaben
Σ BTX	4,0 mg/l
Σ PAK	5,0 mg/l
Cyanid (gesamt)	0,2 mg/l
Phenolindex (wdfl.)	0,5 mg/l
NH ₄ -N	300,0 mg/l

Tab. 19: Tabellarische Zusammenstellung der Analysevorgaben für Kontaminationen, die im Rahmen der Wasseraufbereitung zu erwarten sind (UEG 1995a). wdfl. = wasserdampflich.

Bei der Wasseraufbereitung wird für alle der o. g. Stoffe, außer der NH₄-Fracht, eine 100%ige Reinigungsleistung angestrebt.

Weilburg: Die Festlegung aller Eingreif- und Sanierungszielwerte fanden vor dem Hintergrund der geplanten Folgenutzung als Industriefläche statt. Außerdem ist geplant, die am Standort bestehende Oberflächenversiegelung, nach Beendigung der Sanierungsmaßnahmen, weitgehend wiederherzustellen. Da die in der Grundwasser- sowie in der Altlasten-VwV (siehe Kap. 3.1.5) aufgeführten Sanierungsintensitäten eine sensiblere Folgenutzung voraussetzen, wurde eine Abschwächung als verhältnismäßig angesehen (IFG & UEG 1994).

Dazu wurde vor allem der Sanierung der PAK-Kontaminationen durch die Aufnahme der Methylnaphthaline in die Summenanalyse (US-EPA) für PAK Rechnung getragen. Diese Erweiterung des Analysespektrums soll die potentielle PAK-Fraktion nahezu 100%ig abdecken (IFG & UEG 1994).

Die Sanierungszielwerte für die verschiedenen Hauptkontaminanten wurden unter Berücksichtigung der folgenden Analysevorgaben festgelegt:

Parameter	Analysevorgaben
Cyanid (gesamt)	DEV D13
PAK	US-EPA + Methylnaphthaline
BTX	13 Einzelstoffe + Einzelwert f. Benzol
Phenolindex (wdfl.)	DEV H16-2

Tab. 20: Tabellarische Zusammenstellung der Sanierungszielwerte für den Bodenaushub am Standort Weilburg. wdfl. = wasserdampfllüchtig; EPA = Environmental Protection Agency.

Parameter	Schmutzwasserkanal	Regenwasserkanal
pH-Wert	6,5 - 8,0 mg/l	6,5 - 8,0 mg/l
CSB	–	75,0 mg/l
AOX	0,2 mg/l	0,2 mg/l
Nitrit - N	20,0 mg/l	1,0 mg/l
Nitrat - N	–	50,0 mg/l
Ammonium - N	150,0 mg/l	22,0 mg/l
Mangan	–	2,0 mg/l
Eisen	–	3,0 mg/l
Nickel	0,3 mg/l	0,3 mg/l
Blei	0,2 mg/l	0,2 mg/l
Arsen	0,05 mg/l	0,05 mg/l
Cadmium	0,1 mg/l	0,1 mg/l
Zink	1,0 mg/l	1,0 mg/l
Cyanid (gesamt)	1,0 mg/l	1,0 mg/l
Cyanid (leicht freisetzbar)	0,2 mg/l	0,2 mg/l
KW nach DEV H18	10,0 mg/l	5,0 mg/l
Phenolindex (wdfl.)	0,01 mg/l	0,05 mg/l
Σ PAK	0,002 mg/l	0,001 mg/l
Naphthalin	0,0001 mg/l	0,0001 mg/l
Σ BTX	0,2 mg/l	0,2 mg/l

Tab. 21: Tabellarische Aufstellung der Analysevorgaben für Kontaminationen, die im Rahmen der Wasseraufbereitung abgereinigt wurden (IFG & UEG 1994). wdfl. = wasserdampfllüchtig.

Wetzlar: Für den Standort Wetzlar lagen nur eingeschränkt Informationen über die behördlich festgelegten Eingreifwerte vor. Es ist allerdings anzunehmen, daß mit dem Wert von 100 mg/kg TS für die Summenparameter von Cyanid und PAK der größte Teil der Kontaminationen erfaßt worden ist, die am Standort vorlagen.

Entsprechend der Ausführungen zum Standort Marburg sind die Eingreifwerte auch hier bestimmend für die Größe des Sanierungsareals (siehe Kap. 3.1.5) und somit auch für den Mindestaufwand der Sanierungsmaßnahme gewesen.

Über die Sanierungszielwerte wurden in den ausgewerteten Unterlagen (siehe Kap. 6.) keinerlei Angaben gefunden.

3.1.8 Sanierungsverfahren

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die, an den einzelnen Standorten, zur Anwendung gekommenen Sanierungstechniken bzw. Verfahren gegeben.

An den Standorten Wetzlar und Weilburg kamen im Zuge der Sanierungsdurchführung die gleichen Verfahren zum Einsatz. Aufgrund der kongruenten Vorgehensweise bei der Sanierungsplanung am Standort Marburg ist davon auszugehen, daß dieses Verfahren bzw. die Verfahrenskombination ebenfalls zur Anwendung kommt. Eine differenzierte Beschreibung der einzelnen Verfahren kann Anhang VI und VII entnommen werden.

Umweltmedium	Aufbereitungsart	Standort			
		Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Boden	thermisch	vorgeschlagen	geplant	eingesetzt	eingesetzt
Bodenluft	hydraulisch über Aktivkohle	–	–	–	–
Grundwasser	hydraulisch über Aktivkohle	–	geplant	eingesetzt	eingesetzt

Tab. 22: Tabellarische Zusammenstellung der, an den einzelnen Standorten, zur Anwendung gekommenen bzw. geplanten Sanierungsverfahren.

Trotz der nachgewiesenen Kontaminationen der Bodenluft an den Standorten Wetzlar und Weilburg waren in den ausgewerteten Unterlagen (siehe Kap. 6.) keine Informationen über den Einsatz von entsprechenden Verfahren zur Entfernung von Kontaminationen aus der Bodenluft enthalten. Daher wurde davon ausgegangen, daß entsprechende Maßnahmen als nicht notwendig oder durch den Bodenaushub mit abgedeckt wurden.

Für den Standort Weilburg wurde eine mikrobielle insitu-Sanierung als Sanierungsalternative zur thermische Bodenbehandlung diskutiert. Allerdings kam das Verfahren nicht zum Einsatz, da die thermische Behandlung des ausgekofferten Materials als ökologisch und ökonomische sinnvollste Maßnahme erachtet wurde (IFG & UEG 1994).

Für den Standort Gießen sind neben der thermischen Bodensanierung auch noch eine Immobilisierung mittels Versiegelung oder Einkapselung und insitu-Sanierungsverfahren angedacht worden (GEONORM & KNOBLICH 1996).

3.2 Kenndaten

Obwohl, aufgrund der Vorauswahl, alle Standorte bereits ein hohes Maß an Gemeinsamkeiten aufweisen (siehe Kap. 2.1), bestehen, z. B. in Bezug auf den Kontaminationsgrad, den Sanierungskostenaufwand, die Lage zum Vorfluter sowie den Untergrundaufbau, sowohl bei den Einzelstandorten als auch im Vergleich bestimmter Standorte miteinander, keine 100%igen Übereinstimmungen. Um nun eine fundierte Datenbasis und damit verbunden auch eine solide Grundlage für die Einschätzung der einzelnen Sanierungen zu schaffen, wurden alle zur Verfügung stehenden Datenquellen (siehe Kap. 5.) der verschiedenen Standorte gesichtet und in Bezug auf sanierungsspezifische Daten ausgewertet. Prinzipiell handelt es sich dabei um folgende Unterlagen:

- Bau- und umwelttechnische Gutachten
- Bohrprotokolle und Schichtenverzeichnisse
- Leistungsverzeichnisse der Bau- bzw. Sanierungsgeräte
- Labor- und Analyseprotokolle der chemischen Untersuchungen
- Rechnungen

3.2.1 Potentielle Kenndaten

Im Folgenden sind die potentiell im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen anfallenden Einzel- bzw. Kenndaten aufgeführt. Prinzipiell lassen sich die Rohdaten in zwei große Sparten unterteilen:

- a) die sanierungstechnischen Kenndaten und
- b) die betriebswirtschaftlichen Kenndaten.

Die sanierungstechnischen Kenndaten beinhalten dabei alle Leistungen, die im Zuge von Planung und Umsetzung bis hin zur Folge- und Nachsorgebetreuung der Sanierungsmaßnahmen notwendig werden. Entsprechend beinhalten die betriebswirtschaftlichen Kenndaten alle angefallenen Nettokosten.

Aus den in Kap. 3.2. angesprochenen Datenquellen werden für die integrative Bewertung der Sanierungsmaßnahmen u. a. folgende Kenndaten benötigt:

Sanierungstechnische Kenndaten:

- Untergrundbeschaffenheit: Bohrprotokolle, Schichtenverzeichnisse, kf-Werte etc.
- Grundwasserabstromrichtung
- Abstandsgeschwindigkeit
- Probenahmeprotokolle Boden/Bodenluft/Grundwasser
- Analysedaten (Einzel-/Summenparameter): Sanierungsbegleitung Boden/Bodenluft/Grundwasser
- Kontaminationsverteilungsmuster
- Bohrgeräte: Verwendete Art und Anzahl
- Fahrzeuge: Muldenkipper, Radlader, Bagger, LKW etc.
- Gebäudeteile: Zelteinhausung, Untergrundabdichtungen etc.
- Anschlüsse: Wasser, Strom etc.
- Behandlung des Bodenaushubs: Aushub, Transport, Waage, Sortier- / Zerkleinerungs- und Klassierungsanlage, Aufbereitungsanlage etc.
- Behandlung der Abluft: Ventilatoren, Verrohrung, Filter etc.
- Behandlung des Grundwassers: Vakuumpumpen, Stripanlage, Filter etc.
- Leistungs-/Stromverbrauchsdaten der Brunnen- und Vakuumpumpen oder Seitenkanalverdichter sowie sonstiger Sanierungsgeräte
- Förderraten der Sanierungsbrunnen/-pegel (Grundwasser/Bodenluft)
- Aushubraten an kontaminiertem Erdreich
- Lückenlose Dokumentation der Betriebs- und Stillstandszeiten

- Art und verbrauchte Menge an Filtern
- Stromverbrauch während der Erstellung der Sanierungspegel und -brunnen
- Sanierungsbedingte Bauleistungen: Art und Leistungsdaten der verwendeten Bagger, LKW etc.
- Jeweilige Nutzungsdauer der verwendeten Maschinen
- Mannstunden, zeitlich gestaffelt (Außen-/Innendienst getrennt): Auftraggeber, Gutachter sowie Sanierungs- bzw. Bauausführende
- Energieverbrauch für die Aufbereitung/Reinigung verwendeter Schadstofffilter
- Energieverbrauch für die Aufbereitung/Behandlung von kontaminiertem Boden

Betriebswirtschaftliche Kenndaten:

- Zeitlich gestaffelte Kosten pro Mannstunde, (Außen-/Innendienst getrennt): Auftraggeber, Gutachter, Sanierungs- bzw. Bauausführende
- Zeitlich gestaffelte Kosten der Bauleistungen: Abbruch, Brunnenbohrungen, Pegelbohrungen, Transport, Deponierung etc.
- Zeitlich gestaffelte Kosten der Sanierungsleistungen: Sondier-, Pegel- und Brunnenbohrungen, Aus-hub, Transport, Installation der Sanierungsanlagen, Gerätemieten, Material etc.
- Kosten der Sanierungsanlagen (mit Einzelpositionen)
- Kosten für Transport und Behandlung des kontaminierten Bodenaushubs
- Kosten für sonstige Leistungen im Zuge der Sanierungen (zeitlich gestaffelt): Berichte, Gutachten, Protokolle, Pumpversuche, Probenahmen, chemische Analysen, Transport- oder Fahrtkosten, Freistellung von Mitarbeitern, Störungen im Betriebsablauf
- Zeitlich gestaffelte Energieverbrauchskosten (alternativ Kosten pro kWh) durch die Sanierungsmaßnahme
- Zeitlich gestaffelte Heizkosten für Büros und Außenanlagen
- Kosten zur Sanierungsüberwachung

3.2.2 Kenndatenerhebung

In der ersten Phase wurde eine fundierte Arbeitsgrundlage geschaffen. Dazu wurden sämtliche zur Verfügung stehenden Datenquellen der Standorte Wetzlar, Weilburg, Marburg und Gießen (siehe Kap. 5.) gesichtet.

Ein Ausleihen der Datenquellen war nicht immer möglich. In diesen Fällen mußte die erste Durchsicht der Datenquellen bei dem jeweiligen Ansprechpartner vorgenommen werden. Dabei wurde bereits eine gezielte Vorauswahl getroffen, um alle für die spätere Erstellung der sanierungsspezifischen Kennwerte notwendigen Daten separieren zu können.

Bei der näheren Durchsicht zeichnete sich ab, daß nicht alle der in Kap. 3.2.1 aufgeführten Daten mit entsprechenden Angaben vermerkt waren. Es ist davon auszugehen, daß im Zuge der Sanierungsmaßnahmen diese Angaben zwar angefallen sind, Ihre Dokumentation aber, aufgrund der bisher gängigen Sanierungspraxis (siehe Kap. 1.1), nicht erfolgte.

3.2.3 Kenndatengüte

Allgemein werden unter dem Begriff "Güte" verschiedene Qualitätsaspekte bzw. Zustandsformen zusammengefaßt. Dies gilt auch bei seiner Anwendung auf spezifische Daten, wie sie z. B. im Zuge von Sanierungsmaßnahmen anfallen. Im Folgenden werden daher auch nur allgemeine Aussagen über die verschiedenen Qualitätsaspekte des Datenmaterials der einzelnen Sanierungsmaßnahmen gemacht. Es werden die folgenden Aspekte betrachtet:

- Zugänglichkeit der Datenquellen
- Gliederung der Datenquellen
- Verfügbarkeit der Kenndaten

Prinzipiell ist die Erhebung der zur Sanierungsplanung und Durchführung notwendigen Informationen an allen Standorten nach dem gleichen Schema abgelaufen (siehe Kap. 1.1). Daher wird auch nur ein Überblick über die allgemeine Datensituation an den einzelnen Standorten gegeben. Auf die einzelnen Teilbereiche der jeweiligen Sanierung wird speziell im Rahmen der Diskussion (Kap. 3.5) eingegangen.

Parameter	Standort							
	Gießen		Marburg		Weilburg		Wetzlar	
Zugänglichkeit	+	○	○	--	+	+	--	+
Gliederung	--	--	○	--	○	○	--	○
Verfügbarkeit	--	--	--	--	--	--	--	--
Datenbereich:	TECH	BWL	TECH	BWL	TECH	BWL	TECH	BWL
Bewertungsformen:	+ optimal		○ ausreichend				-- unzulänglich	

Tab. 23: Tabellarische Zusammenstellung der Datengüte der sanierungstechnischen sowie der betriebswirtschaftlichen Daten der verschiedenen Sanierungen. TECH = technische Daten, BWL = betriebswirtschaftliche Daten.

Zugänglichkeit: Die Zugänglichkeit reflektiert ausschließlich, inwieweit benötigte Datenquellen über die einzelnen Standorte bzw. Sanierungen zur Auswertung bereitgestellt werden konnten.

Gliederung: Die Gliederung der Datenquellen bezieht sich auf die jeweilige Dokumentationsart der angefallenen Informationen sowie der letztendlich erbrachten Leistungen.

Verfügbarkeit: Die Verfügbarkeit von Kenndaten spiegelt die Diskrepanz zwischen dem Anspruch einer optimalen Datendichte und der tatsächlich dokumentierten und damit auswertbaren Datenmenge der einzelnen Standorte wieder.

3.2.4 Kenndatengruppen

Anhand der angefallenen Einzeldaten lassen sich noch keine Aussagen über die jeweils zugehörige Sanierung treffen. Durch die Zusammenstellung der Einzeldaten in Gruppen können allerdings bereits erste sanierungsspezifische Parameter bzw. Kennwerte, u. a. die Menge an behandeltem Boden und Grundwasser sowie die angefallenen Gesamtkosten, ermittelt werden. Diese spezifischen Kennwerte können bereits zum Vergleich zweier abgeschlossener Sanierungsmaßnahmen untereinander sowie zur überschlägigen Kostenkalkulation bei ähnlich gelagerten Fällen herangezogen werden.

Optimierend in den Verlauf einer Sanierungsmaßnahme einzugreifen, ist in diesem Stadium noch nicht möglich. Prinzipiell ergibt sich diese Möglichkeit erst mit der Bildung von sanierungsspezifischen Kennwerterelationen, die eine, ggf. auch zeitlich differenzierte Aussage über Teilbereiche der verschiedenen Sanierungsmaßnahmen zulassen (siehe Kap. 3.4).

Um zunächst zu den sanierungsspezifischen Kennwerten zu gelangen, wird eine Aufschlüsselung der Gesamtheit an – sowohl sanierungstechnischen als auch betriebswirtschaftlichen – Einzeldaten vorgenommen. Dazu werden zunächst alle für die jeweilige Sanierung spezifischen Kenndaten sortiert und zu größeren Datenblöcken, sogenannten Kenndatengruppen, zusammengestellt.

Zur Abgrenzung der **sanierungstechnischen Kenndatengruppen** werden dazu die, für alle untersuchten Sanierungsmaßnahmen gleichermaßen repräsentativen, Teilbereiche herangezogen:

- Aufbereitete Umweltmedien
- Abgereinigte Kontaminanten

- Energieaufwand
- Angefallene CO₂-Emissionen

Die einzelnen Gruppen sind dabei einerseits durch den vermeintlichen Erfolg sowie andererseits durch die energetischen Aspekte der einzelnen Sanierungsmaßnahmen charakterisiert. Nachfolgend sind die einzelnen Kenndatengruppen kurz erläutert:

Aufbereitete Umweltmedien: In der Kenndatengruppe werden alle rekonstruierbaren Kontingente an aufbereiteten Umweltmedien berücksichtigt. Im Fall der untersuchten Standorte handelt es sich bei den zu sanierenden Umweltmedien in erster Linie um Boden und Grundwasser (siehe auch Kap. 3.1.5). Da keine Daten über eine spezielle Bodenluftsanierung an einem der Standorte vorlagen, werden für diesen Teil der Bodensanierung auch keine detaillierten Angaben gemacht.

Abgereinigte Kontaminanten: Anhand der in der Kenndatengruppe zusammengestellten Daten, werden, in Abhängigkeit von den an den verschiedenen Standorten vorliegenden Kontaminantenspektren, die jeweiligen Kontingente an abgereinigten Kontaminanten abgeschätzt. Die ermittelten Kennwerte basieren dabei einerseits auf den in Kap. 3.1.5 dargestellten Maximalkonzentrationen der verschiedenen Kontaminanten sowie andererseits auf den Kennwerten, die sich aus den in der Kenndatengruppe „Aufbereitete Umweltmedien“ zusammengestellten Daten ergeben.

Energieaufwand: In der Kenndatengruppe werden die zur Aufbereitung der verschiedenen Umweltmedien benötigten Energiemengen dargestellt. Der jeweilige Energieeinsatz bezieht sich dabei auf die Kontingente an aufbereiteten Umweltmedien, die entsprechenden Kennwerte ergeben sich aus den in der Kenndatengruppe „Aufbereitete Umweltmedien“ zusammengestellten Daten.

Angefallene CO₂-Emissionen: Die ermittelten Kennwerte basieren dabei zum einen auf den in Anhang VIII dargestellten Emissionsäquivalenten sowie zum anderen auf den Kennwerten, die sich aus den in der Kenndatengruppe „Energieaufwand“ zusammengestellten Daten ergeben. Aus den CO₂-Kennwerten wird deutlich, daß neben den o. g. auch zumindest indirekt noch das Umweltmedium Luft von Beeinträchtigung betroffen ist.

Besonderer Wert wurde auf die Entwicklung und Abgrenzung der verschiedenen **betriebswirtschaftlichen Kenndatengruppen** gelegt. Die Gruppen repräsentieren somit die für alle vier Sanierungsmaßnahmen gleichermaßen fundamentalen Leistungsschwerpunkte. Zur Vereinfachung wurden für die einzelnen Kenndatengruppen folgende Bezeichnungen gewählt:

- Bautechnik
- Sanierungstechnik
- Gutachten
- Analytik
- Entsorgung
- Eigen
- Gebühren
- Sonstige

Die einzelnen Gruppen wurden durch feste Definitionen gegeneinander abgegrenzt. Nachfolgend sind die einzelnen Kenndatengruppen sowie die zur Abgrenzung ausgearbeiteten Definitionen näher erläutert:

Bautechnik: Die für die einzelnen Standorte geplante Folgenutzung ist primär ausschlaggebend für die Abgrenzung des Bereiches der bautechnischen Leistungen. Es werden sämtliche Leistungen in die Kenndatengruppe aufgenommen, die auch ohne eine Sanierung der Gelände angefallen wären. Der weitaus größte Anteil entfällt dabei auf Leistungen, die sich aus dem Abbruch oberirdischer Produktions- und/oder Gebäudereste ergeben. Sieht die Folgenutzung den Erhalt bestehender Bausubstanz vor, so fließen die Leistungen für Instandhaltung und Renovierung ebenfalls in die Kenndatengruppe ein.

Die Kenndatengruppe wird zudem zeitlich eingegrenzt. Per Definition endet der Zeitraum, in dem bautechnische Leistungen anfallen, mit Stellung bzw. Bezahlung der Schlußrechnung für die oberirdischen Abbrucharbeiten. Ausgenommen sind einzig Instandhaltungs- und Renovierungsarbeiten, die sich direkt aus der geplanten Folgenutzung ergeben und erst nachträglich abgerechnet oder erbracht worden sind. Alle anderen Leistungen die ihrer Art nach in der Kenndatengruppe „Bautechnik“ berücksichtigt werden müßten, aber erst nach o. g. Zeitpunkt erbracht wurden, werden als sanierungstechnische Leistungen eingestuft und entsprechend behandelt.

Sanierungstechnik: In der Kenndatengruppe werden vornehmlich alle Leistungen aufgenommen, die im Rahmen der technischen Umsetzung der einzelnen Sanierungsmaßnahmen angefallen sind. Dazu gehören u. a. Einrichten der Baustellen, Vorhalten von Geräten, Arbeitsschutzmaßnahmen etc.

Neben diesen Leistungen fließen ebenfalls bautechnische Leistungen in die Kenndatengruppe mit ein, die nach der o. g. Eingrenzung für die Aufnahme in die Kenndatengruppe „Bautechnik“ angefallen und abgerechnet worden sind. Dabei handelt es sich u. a. um Ausbesserungs- und Renovierungsarbeiten an Straßen oder Zufahrtswegen sowie Schäden die nachweislich durch eingesetztes Sanierungsgerät entstanden sind.

Gutachten: Als gutachterliche Leistungen werden vorrangig beratende sowie planerische Tätigkeiten aufgefaßt, i. d. R. handelt es sich um schriftliche dokumentierte Leistungen, die im Innendienst (Bürotätigkeit) angefallen sind. Dazu gehören u. a. die Erstellung von Berichten und Gutachten, statische Berechnungen und deren Prüfung sowie Rechnungs- und Angebotsprüfungen. Das Leistungsspektrum erstreckt sich sowohl auf die Sanierungsplanung als auch auf die eigentliche Durchführung.

Entsprechend werden Leistungen die nachweislich im Außendienst erbracht worden sind, nicht in die Kenndatengruppe aufgenommen. Als Ausnahme sind Leistungen für gesonderte Beratungen, Besprechungen, Probenahmen sowie Termine zu Überwachungszwecken anzusehen, die im Zuge der Sanierungen erbracht wurden. Diese werden ebenfalls in die Kenndatengruppe „Gutachten“ aufgenommen.

Analytik: In der Kenndatengruppe werden alle Leistungen zusammengefaßt, die im Rahmen der Sanierungsmaßnahmen für chemische Analysen angefallen sind. Das Leistungsspektrum erstreckt sich dabei von der ersten Standorterkundung über die regelmäßigen Verwertungs-/ Entsorgungsuntersuchungen bis hin zur letzten Kontroll- bzw. Nachsorgeuntersuchung.

Entsorgung: Die Kenndatengruppe umfaßt alle Leistungen, die im Rahmen der Verwertungs- und Entsorgungsmaßnahmen angefallen sind. Dazu gehören u. a. Leistungen für die Bearbeitung des Verwertungs-/Entsorgungsnachweises, die Materialaufbereitung für die Verwertung bzw. Entsorgung sowie der dazu notwendige Transport.

Der Bereich der Verwertungs- und Entsorgungsleistungen wird weitgehend auf die eigentliche Sanierung begrenzt. Daher werden Leistungen für die Deponierung von Bauschutt, der durch den Abbruch ehemaliger Gebäude- sowie Anlagenteile angefallen ist, nicht in die Kenndatengruppe aufgenommen. Ausgenommen hiervon ist die Beseitigung von Produktionsrückständen, die bereits im Zuge der Abbrucharbeiten (Bautechnik) entsorgt werden mußten, da sie bei einer Umwidmung ohne die Sanierung der Gelände auch als Entsorgungskosten angefallen wären.

Eigenleistungen: In der Gruppe werden alle Leistungen zusammengefaßt, die von Mitarbeitern der sanierungspflichtigen Stadtwerke erbracht worden sind. Dazu gehören u. a. Stundenlohnarbeiten für die Projektbetreuung, die Überwachung bzw. Reparatur des öffentlichen Versorgungsnetzes (Wasser, Strom, Gas etc.) sowie das dabei verbrauchte Material, die angefallenen Fahrtkosten und Spesen.

Gebühren: In die Kenndatengruppe werden nur Leistungen aufgenommen, die direkt durch Behörden oder Ämter erbracht bzw. durch diese Abgerechnet wurden, u. a. Stellungnahmen, Genehmigungen und Anweisungen durch Wasserwirtschafts-, Bau- sowie Umweltämter.

Sonstige: In der Gruppe werden alle Leistungen zusammengefaßt, die weder einer einzelnen Kenndatengruppe direkt zugeordnet, noch zwischen mehreren Gruppen differenziert aufgeteilt werden können.

3.3 Kennwerte

Die in Kenndatengruppen vorsortierten Einzeldaten der Sanierungen wurden in eine tabellarische Übersicht gebracht. In dieser wurden die Einzeldaten innerhalb der jeweiligen Kenndatengruppe in ihrer zeitlichen Abfolge und nach Sanierungsjahren getrennt aufgelistet.

Dadurch wurden Unterschiede und Gemeinsamkeiten in der Kennwertekarakteristik der einzelnen Standorte sichtbar. Insgesamt ließ sich feststellen, welche Kennwerte für alle Standorte als Vergleichsgrößen zur Anwendung kommen können. Gleichzeitig konnte ermittelt werden, welche Hilfsparameter, die bei allen Standorten fast gleichrangige Bedeutung haben, zur Verfügung stehen. Zudem wird klar, welche Parameter auf keinen Fall in eine komparative Betrachtung einfließen dürfen.

3.3.1 Aufbereitete Umweltmedien

Im Folgenden sind die, anhand der zur Verfügung stehenden Unterlagen (siehe Kap. 5.), ermittelten Kennwerte über die aufbereiteten Bodenaushub- und Grundwassermengen aufgelistet. Soweit möglich wurde bei der Zusammenstellung der Daten sowohl zwischen unterschiedlichen Kontaminationsgraden – verunreinigt, belastet bzw. unbelastet – als auch zwischen den verschiedenen Untergrundbereichen – Auffüllung bzw. anstehender Boden (siehe Kap. 3.1.1) – differenziert.

Gießen: Die nachfolgenden Kalkulationen beziehen sich auf die in Kap. 3.1.5 gemachten Angaben. Es werden für die vorgesehenen Sanierungsareale sowohl die Angaben des Mindest- als auch eines erweiterten Sanierungsbedarfs aufgeführt.

Material	Sanierungsareal	Mindestbedarf	Sanierungsareal	Erweitert. Bedarf
Unbelastete Auffüllung	A) 15 m x 15 m = 225 m ² x 0,5 m =	113 m ³	A) 20 m x 18 m = 360 m ² x 0,5 m =	180 m ³
	B) 25 m x 8 m = 300 m ² x 0,5 m =	100 m ³	B) 52 m x 10 m = 520 m ² x 0,5 m =	260 m ³
	C) 24 m x 20 m = 480 m ² x 0,5 m =	240 m ³	C) 24 m x 26 m = 624 m ² x 0,5 m =	312 m ³
	Summe: A+B+C =	453 m³	Summe: A+B+C =	752 m³
Unbelasteter Boden	A) –	–	A) –	–
	B) 25 m x 8 m = 200 m ² x 1,0 m =	200 m ³	B) 52 m x 10 m = 520 m ² x 1,0 m =	520 m ³
	C) 24 m x 20 m = 480 m ² x 1,0 m =	480 m ³	C) 24 m x 26 m = 624 m ² x 1,0 m =	624 m ³
	Summe: A+B+C =	680 m³	Summe: A+B+C =	1.144 m³
Belastete und verunreinigte Auffüllung	A) 15 m x 15 m = 225 m ² x 3,0 m =	675 m ³	A) 20 m x 18 m = 360 m ² x 3,0 m =	1.080 m ³
	B) 25 m x 8 m = 300 m ² x 1,5 m =	300 m ³	B) 52 m x 10 m = 520 m ² x 1,5 m =	780 m ³
	C) 24 m x 20 m = 480 m ² x 2,0 m =	960 m ³	C) 24 m x 26 m = 624 m ² x 2,0 m =	1.248 m ³
	Summe: A+B+C =	1.935 m³	Summe: A+B+C =	3.108 m³
Belasteter und verunreinigter Boden	A) 15 m x 15 m = 225 m ² x 2,0 m =	450 m ³	A) 20 m x 18 m = 360 m ² x 2,0 m =	720 m ³
	B) 25 m x 8 m = 200 m ² x 2,0 m =	400 m ³	B) 52 m x 10 m = 520 m ² x 2,0 m =	1.040 m ³
	C) 24 m x 20 m = 480 m ² x 2,0 m =	960 m ³	C) 24 m x 26 m = 624 m ² x 2,0 m =	1.248 m ³
	Summe: A+B+C =	1.810 m³	Summe: A+B+C =	3.008 m³
Umweltmedium: Boden				

Tab. 24: Tabellarische Zusammenstellung der laut GEONORM & KNOBLICH (1996) für den Standort Gießen potentiell zu erwartenden Aushubmassen.

Bei den kontaminierten Auffüllungsbereichen wird laut GEONORM & KNOBLICH (1996) davon ausgegangen, daß der Anteil an belastetem sowie verunreinigtem Material jeweils 50% ausmacht. Im Gegensatz dazu wird angenommen, daß der kontaminierte Bodenaushub zu 100% verunreinigt ist. Somit würden im Falle einer Sanierung die folgenden Kubaturen anfallen:

Material	Mindestsanierungsbedarf		Erweiterter Sanierungsbedarf	
unbelastetes Material	ca. 1.140 m ³	ca. 2.280 t	ca. 1.900 m ³	ca. 3.800 t
belastetes Material	ca. 970 m ³	ca. 1.940 t	ca. 1.560 m ³	ca. 3.120 t
verunreinigtes Material	ca. 2.810 m ³	ca. 5.620 t	ca. 4.570 m ³	ca. 9.140 t
Umweltmedium: Boden				

Tab. 25: Bei der Umrechnung wurden die Kubaturen jeweils aufgerundet, zudem wurde von einer mittleren Dichte des Aushubmaterials von 2,0 t/m³ ausgegangen (GEONORM & KNOBLICH 1996).

Wie bereits erwähnt, konnten bei den obigen Berechnungen nicht die potentiellen Kontaminationen tieferliegender Schichten, z. B. der wassergesättigten Kieshorizonte in einer Tiefe von über 6 m (siehe Kap. 3.1.1), berücksichtigt werden. An Proben aus diesen Schichten sind zwar organoleptische Auffälligkeiten festgestellt worden, für die Einbeziehung der entsprechenden Kubaturen liegen aber, laut GEONORM & KNOBLICH (1996), zu wenige tiefreichende Sondierungen und entsprechende Bodenanalysen, zudem keinerlei Grundwasseranalysen vor.

Demgemäß waren auch in den zur Verfügung stehenden Unterlagen (siehe Kap. 5.) keine Angaben über die potentiell zu erwartenden Mengen an kontaminiertem Grundwasser enthalten.

Marburg: Neben den auszuhebenden bzw. aufzubereitenden Kubaturen werden für den Standort Marburg auch die zu erwartenden Grundwassermengen abgeschätzt (UEG 1995a).

Parameter	Material			
	unkontaminiert		kontaminiert	
	Bauschutt	Bodenaushub	Bauschutt	Bodenaushub
Menge (t)	4.500,000 t	31.000,000 t	–	13.000,000 t
bei 1,6 t/m ³	ca. 2.812,500 m ³	ca. 19.375,000 m ³	–	ca. 8.125,000 m ³
bei 1,8 t/m ³	ca. 2.500,000 m ³	ca. 17.222,222 m ³	–	ca. 7.222,222 m ³
bei 2,0 t/m ³	ca. 2.250,000 m ³	ca. 15.500,000 m ³	–	ca. 6.500,000 m ³
Umweltmedium: Boden				

Tab. 26: Tabellarische Zusammenstellung der, für den Standort Marburg, prognostizierten Mengen an Aushub. Über die erwarteten Mengen an kontaminiertem Bauschutt konnten keine Angaben ermittelt werden.

Für den Standort Marburg wird eine aufzubereitende Grundwassermenge von ca. 30.000 m³ erwartet. Daher ist die Grundwasseraufbereitung, laut UEG (1995a), auf 500 m³/d bzw. 25 m³/h zu dimensionieren. Dabei wird von den folgenden Konzentrationsspitzen in der Rohwasserspense ausgegangen:

- Σ PAK bis 5,0 mg/l
- Σ BTX bis 4,0 mg/l
- Phenolindex (wdfl.) bis 0,5 mg/l
- Cyanide bis 0,2 mg/l
- NH₄-N bis 300,0 mg/l

Es wird für Hauptkontaminanten (PAK, BTX, Phenole sowie Hexacyanoferrate) eine 100%ige Reinigungsleistung angestrebt. Die NH₄-Fracht der Rohwasserspense soll dagegen ungemindert an das Klärwerk oder den Vorfluter weitergegeben werden (UEG 1995a).

Weilburg: Für den Standort Weilburg war es, anhand der zur Verfügung stehenden Unterlagen (siehe Kap. 5.), möglich, neben den angefallenen Aushubmengen auch Angaben über die aufbereiteten Grundwassermengen zu ermitteln.

Parameter	Material			
	unkontaminiert		kontaminiert	
	Bauschutt	Bodenaushub	Bauschutt	Bodenaushub
Menge (t)	2.035,940 t	–	1.210,250 t	5.216,826 t
bei 1,6 t/m³	ca. 1.272,463 m³	–	ca. 756,406 m³	ca. 3.260,516 m³
bei 1,8 t/m³	ca. 1.131,078 m³	–	ca. 672,361 m³	ca. 2.898,237 m³
bei 2,0 t/m³	ca. 1.017,970 m³	–	ca. 605,125 m³	ca. 2.608,413 m³
Umweltmedium:	Boden			

Tab. 27: Tabellarische Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte der am Standort Weilburg angefallenen bzw. aufbereiteten Mengen an Aushub. Über die angefallenen Mengen an unkontaminiertem Bodenaushub konnten keine Angaben ermittelt werden.

Für den Standort Weilburg ist eine, über die in Tab. 27 hinausgehende, Differenzierung der ausgehobenen Kubaturen möglich. Das o. g. Gesamtvolumen an kontaminiertem Bodenaushub (5.216,826 t) setzt sich aus **1.809,776 t belastetem** und **3.407,050 t verunreinigtem** Material zusammen. Dies ist besonders deshalb wichtig, da die einzelnen Kubaturen auf unterschiedliche Weise entsorgt wurden. Das belastete Material wurde der Main-Taunus-Recycling GmbH (MTR) in Flörsheim-Wicker zur Deponierung angeboten, wogegen das verunreinigte Material durch die Afvalstoffen-Terminal-Moerdijk B. V. (ATM) in den Niederlanden thermisch aufbereitet wurde.

Der Transport des thermisch aufzubereitenden Materials erfolgte von der Baustelle mittels LKW zum Hafen in Lahnstein, von dort wurde das Material per Schiff weiter bis zum Hafen in Moerdijk und zur ATM transportiert. Der weitere Behandlungsweg innerhalb der ATM kann dem Anhang VI entnommen werden. Der Transport des belasteten Materials erfolgte nur per LKW.

Zum Transport des verunreinigten und belasteten Bodenaushubs waren insgesamt 108 LKW-Fahrten notwendig. Dabei sind insgesamt 8 Stunden an abgerechneten Stillstandszeiten der eingesetzten LKW angefallen.

Neben den o. g. Mengen an thermisch behandeltem Bodenaushub wurden im Zuge der Sanierung des Standortes ca. **1.664,130 m³** an Grundwasser aufbereitet.

Wetzlar: Für den Standort Wetzlar war, anhand der zur Verfügung stehenden Unterlagen (siehe Kap. 5.), die exakte Bestimmung der Aushubmengen nicht möglich. Daher geben die in Tab. 28 aufgeführten Mengen auch nur den Mindestsanierungsbedarf wieder.

Parameter	Material			
	unkontaminiert		kontaminiert	
	Bauschutt	Bodenaushub	Bauschutt	Bodenaushub
Menge (t)	4.868,953 t	18.038,346 t	304,538 t	9.876,690 t
bei 1,6 t/m³	ca. 3.043,096 m³	ca. 11.273,966 m³	ca. 190,336 m³	ca. 6.172,931 m³
bei 1,8 t/m³	ca. 2.704,974 m³	ca. 10.021,303 m³	ca. 169,878 m³	ca. 5.487,050 m³
bei 2,0 t/m³	ca. 2.434,477 m³	ca. 9.019,173 m³	ca. 152,269 m³	ca. 4.938,345 m³
Umweltmedium:	Boden			

Tab. 28: Tabellarische Zusammenstellung der ermittelten Kennwerte der, am Standort Wetzlar, angefallenen bzw. aufbereiteten Mengen an Aushub.

Die in Tab. 28 aufgeführten Aushubmassen stammen aus dem Bereich der eigentlichen Grube, der Gasabfüllanlage sowie des Gasometerbeckens (siehe Anhang I). Die genauen Kubaturen konnten jedoch nicht mehr ermittelt werden. Im Anschluß an den ehemaligen Cyanid-Filterbereich (siehe Anhang I) wurden, beim Ausheben der für den Neubau der Stadtwerke benötigten Baugrube, weitere Filtermassen entdeckt. Laut UEG (1993d) war lediglich ein Horizont von 0,5 m Mächtigkeit und einer Ausdehnung von max. 25 m² signifikant mit Cyaniden kontaminiert. Die letztendlich angefallenen Aushubmassen (genaue Angaben fehlen) wurden, da sie die Anforderungen von 600 mg/kg TS Gesamtcyanid unterschritten, auf einer geordneten Hausmülldeponie entsorgt.

Da die mittlere Dichte von 1,8 t/m³ i. d. R. als der objektivste Umrechnungsfaktor anzusehen ist, werden die entsprechenden Angaben für die weiteren Berechnungen herangezogen. Somit ergibt sich für den Standort ein Mindestvolumen von ca. 18.383,205 m³ an bewegtem Material. Der Anteil an kontaminiertem bzw. aufbereitetem Material beträgt ca. 54%.

Bei der weiteren Erkundung der Grube wurde eine linsenförmige Teerkontamination in den nach Osten einfallenden Gesteinsschichten (siehe Kap. 3.1.1) festgestellt. Ausgehend vom ungefähren Grubenzentrum war die Teerphase in die anstehenden Schwarzschiefer und dann weiter entlang deren Schichtfugen und Kluftzonen migriert. Die Schieferschichten tauchen allerdings lokal tiefer als die Unterkante der Grubeneinspundung ab, daher konnte nach Erreichen der Unterkante ein ca. 0,3 - 0,4 m mächtiger Kontaminationshorizont nicht entnommen werden. Da die zusätzlichen Maßnahmen, die zur vollständigen Beseitigung des kontaminierten Materials notwendig gewesen wären, in keinem Verhältnis zum erreichbaren Sanierungserfolg gestanden hätten, wurden in Abstimmung mit den zuständigen Fachbehörden ca. 2 m³ bzw. ca. 3,6 t kontaminiertes Material an Ort und Stelle belassen. Die damit im Untergrund verbliebene Menge an Kontaminanten beläuft sich auf ca. 72 kg PAK (UEG 1993a).

Neben den o. g. Mengen an thermisch behandeltem Bodenaushub wurden im Zuge der Sanierung des Standortes ca. **42.485,000 m³** an Grundwasser aufbereitet.

3.3.2 Abgereinigte Kontaminanten

Nachfolgend sind die für die verschiedenen Standorte im Zuge der Aufbereitung von Bodenaushub bzw. Grundwasser ermittelten Mengen an abgereinigten Kontaminanten dargestellt.

Parameter	Einheit	Standort			
		Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	t	–	(0,797)	0,002	–
Σ Cyanidverbindungen	t	(4,608)	(83,170)	5,451	2,410
Kohlenwasserstoffe nach DEV H18	t	–	(11,367)	1,772	–
Σ Phenole (Phenolindex)	t	–	(1,047)	0,375	–
Σ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	t	(14,781)	(22,000)	24,531	267,915
Umweltmedium:		Boden			

Tab. 29: Tabellarische Zusammenstellung der verschiedenen Kontaminantenmengen, die dem Umweltmedium Boden entzogen wurden. Fehlende Angaben (–) beruhen entweder auf unterschiedlichen Analysenspektren, nicht vorhandenen Angaben oder Kontaminantenkonzentrationen, die unter der analytischen Nachweisgrenze lagen. Die Angaben beziehen sich immer auf die Bruttoanalysen der jeweiligen Bodenproben. Die eingeklammerten Werte stellen zu erwartende Abschätzungen dar, wobei für Gießen der Mindestsanierungsbedarf berücksichtigt wurde.

Parameter	Einheit	Standort			
		Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Σ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	kg	–	(165,990)	0,965	91,598
Σ Cyanidverbindungen	kg	–	(38,700)	0,150	28,890
Kohlenwasserstoffe nach DEV H18	kg	–	(51,900)	0,666	–
Σ Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	kg	–	(0,150)	–	0,977
Σ Phenole (Phenolindex)	kg	–	(0,210)	3,994	–
Σ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	kg	–	(235,020)	1,997	62,623
Umweltmedium:		Grundwasser			

Tab. 30: Tabellarische Zusammenstellung der verschiedenen Kontaminantenmengen, die dem Umweltmedium Grundwasser entzogen wurden. Fehlende Angaben (–) beruhen entweder auf unterschiedlichen Analysenspektren, nicht vorhandenen Angaben oder Kontaminantenkonzentrationen, die unter der analytischen Nachweisgrenze lagen. Die eingeklammerten Werte stellen zu erwartende Abschätzungen dar.

Den Berechnungen der im Zuge der verschiedenen Sanierungsmaßnahmen abgereinigten Kontaminantenmengen werden die in Kap. 3.1.5 beschriebenen Maximalkonzentrationen sowie die in Kap. 3.3.1 ermittelten Angaben zugrunde gelegt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß nicht alle Stoffgruppen gleichermaßen angereichert und auf den jeweiligen Arealen verteilt vorliegen. Zudem hat bereits das Überschreiten des, für eine einzelne Stoffgruppe bzw. einen Einzelstoff, behördlicherseits festgelegten (siehe Kap. 3.1.7) Eingreifwertes die Verwertung bzw. Entsorgung des beprobten Materials zur Folge.

Vor diesem Hintergrund stellen die ermittelten Mengenangaben an abgereinigten Kontaminanten den optimalen Reinigungserfolg der jeweiligen Sanierung dar. Es ist jedoch davon auszugehen, daß die tatsächlichen bzw. die mittleren Konzentrationen der einzelnen Stoffgruppen jeweils deutlich geringer ausfallen als die in Kap. 3.1.5 angegebenen. Entsprechend geringer ist daher auch der tatsächliche Reinigungserfolg der einzelnen Sanierungen anzusetzen.

Gießen: Da Kontaminationen mit BTX bzw. Phenolen am Standort nicht nachgewiesen werden konnten (siehe Kap. 3.1.5) und für MKW keine Angaben vorlagen, wurden nur die abgereinigten Mengen an PAK und Cyaniden ermittelt.

Über die zu erwartenden Mengen an Grundwasser sowie dessen potentiellen Kontaminationen, lagen in den zur Verfügung stehenden Unterlagen (siehe Kap. 5.) keine Angaben vor.

Marburg: Für den Standort Marburg wurde eine Abschätzung der als Kontaminantenquellen anzusehenden Teer-/Teerölvorräte bzw. deren Hauptinhaltsstoffe (PAK) vorgenommen. Laut UEG (1995a) beläuft sich die zu erwartende Menge an Teer bzw. Teeröl auf ca. 68 t, die Menge an PAK entspricht dabei ca. 22 t. Dies würde einer durchschnittlichen Kontamination von ca. 1.692 g PAK pro Tonne bei einer zu erwartenden Aushubcharge von ca. 13.000 t entsprechen.

Da die angenommene Menge von ca. 22 t PAK gut mit den Ergebnissen der bereits sanierten Standorte Weilburg und Wetzlar korrespondiert, kann davon ausgegangen werden, daß die überschlägige Abschätzung näher an der tatsächlich vorhandenen Kontaminantenmenge liegt, als die anhand der Maximalkonzentration ermittelbaren Kontaminantenmenge.

Aufgrund der in Kap. 3.1.5 aufgeführten Konzentrationsangaben sowie der für den Standort Marburg erwartungsgemäß kontaminierten Grundwassermenge von ca. 30.000 m³ (UEG 1995a), werden die folgenden potentiell abzureinigenden Kontaminantenmengen abgeschätzt:

Die Tab. 30 gemachten Angaben stellen die Kontaminantenmengen dar, die dem Umweltmedium Grundwasser am Standort Marburg potentiell entzogen werden können.

Weilburg: Neben den in Kap. 3.3.1 genannten Mengen an thermisch behandeltem Bodenaushub wurden im Zuge der Sanierung des Standortes ca. 1.664,130 m³ an Grundwasser aufbereitet. Für die Berechnungen der aus dem Grundwasser abgereinigten Kontaminantenmengen werden, entsprechend dem Umweltmedium Boden, die in Kap. 3.1.5 beschriebenen Maximalkonzentrationen herangezogen.

Wetzlar: Für den Standort Wetzlar ist davon auszugehen, daß die ermittelte PAK-Menge deutlich überhöht ist, da der in Kap. 3.1.5 angegebenen Maximalwert von 27.126 mg/kg TS PAK einen Einzelwert darstellt. Daher wird für alle weiteren Betrachtungen bzw. Berechnungen eine Schätzmenge von **27 t abgereinigter PAK** herangezogen. Diese stellt zwar nur ca. 10% der ermittelten Maximalmenge dar, korrespondiert aber wesentlich besser mit der ermittelbaren Durchschnittskontamination von ca. 3.000 mg PAK pro Kilogramm Boden (siehe Kap.3.1.5). Die ermittelte Menge an abgereinigten Cyanidverbindungen ist dagegen, im Vergleich mit den anderen Standorten, als durchaus realistisch anzusehen.

Auch für den Standort Wetzlar wird der Berechnung der aus der aufbereiteten Grundwassermenge von ca. 42.985 m³ abgereinigten Kontaminanten, die in Kap. 3.1.5 beschriebenen Maximalkonzentrationen zugrundegelegt.

3.3.3 Energieaufwand

Im Folgenden sind die ermittelten Kennwerte über die, im Zuge der Aufbereitung der verschiedenen Umweltmedien (Boden bzw. Grundwasser), verbrauchten Energiemengen dargestellt. Die entsprechenden Mengenangaben sind dem Kap. 3.3.1 entnommen.

Für die Aufbereitung des kontaminierten Bodenaushubs werden die Angaben über die von der Firma ATM in Moerdijk (Niederlande) betriebene Anlage herangezogen. Die thermische Aufbereitungsanlage hat eine Jahreskapazität von ca. 500.000 t, dies entspricht einem Durchsatz von ca. 1.370 t pro Tag bzw. ca. 57 t pro Stunde. Die Befeuerung der Aufbereitungsanlage erfolgt hauptsächlich mit Mineralöl (siehe Anhang VI). Laut Herrn SOMKE²⁾ (ATM) beläuft sich die verbrauchte Mineralölmenge, bei einem kontinuierlichen Betrieb der Anlage, auf ca. 24.000 l pro Tag, entsprechend ca. 1.000 l pro Stunde. Aus den o. g. Angaben ergibt sich, daß bei der thermischen Aufbereitung von **1 t Bodenaushub ca. 18 l Mineralöl** verbraucht werden.

Da sich über die elektrischen Anschlußwerte der eingesetzten bzw. geplanten Wasseraufbereitungsanlagen keine genauen Angaben ermitteln ließen, finden die entsprechenden Energieeinsätze bei den weiterführenden Betrachtungen keine Berücksichtigung.

Parameter	Einheit	Standort			
		Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Aufbereitete Bodenmenge	t	(5.620,000)	(13.000,000)	3.407,050	9.876,690
Verbrauchte Energieträger	l	(101.160,0)	(234.000,0)	61.327,9	177.780,4
Umweltmedium: Boden					

Tab. 31: Tabellarische Zusammenstellung der aufgrund der aufbereiteten Aushubmengen ermittelten energetischen Kennwerte. Die eingeklammerten Werte stellen zu erwartende Abschätzungen dar, wobei für Gießen der Mindestsanierungsbedarf berücksichtigt wird.

Gießen: Für den Standort Gießen wurde in der Tab. 31 nur der in Kap. 3.3.1 dargestellte Mindestsanierungsbedarf berücksichtigt. Der erweiterte Sanierungsbedarf von ca. 9.140 t an aufzubereitendem Material würde dagegen einen Energieaufwand von ca. 164.520 l Mineralöl bedingen.

²⁾ Freundliche mündliche Mitteilung der Afvalstoffen Terminal Moerdijk B. V.

Marburg: Die für den Standort Marburg angegebene Menge von 13.000 t an aufzubereitendem Material (siehe Kap. 3.3.1) stellt voraussichtlich eine realistische Abschätzung des potentiellen Sanierungsbedarfs dar.

Da das Sanierungsareal von Marburg ca. 3,8 mal so groß ist wie das des Standortes Weilburg, kann davon ausgegangen werden, daß die potentiell aufzubereitende Menge an Aushub ebenfalls mindestens 3,8 mal so groß sein wird. Dies würde einem Sanierungsbedarf von ca. 12.947 t an kontaminiertem Material entsprechen. Der für die Aufbereitung des Materials notwendige Energieeinsatz würde sich auf ca. 233.042 l Mineralöl belaufen.

Weilburg: Bei der thermischen Aufbereitung der am Standort Weilburg angefallenen Menge an kontaminierten Bodenaushub von ca. 3.407 t wurden ca. 61.327 l Mineralöl verbraucht

Obwohl sich für den Standort eine aufbereitete Grundwassermenge von ca. 1.664 m³ rekonstruieren ließ, muß aus o. g. Gründen auf die Einbeziehung der zusätzlichen, sich aus der Aufbereitung ergebenden, Energieverbräuche verzichtet werden. Da die tatsächlich durch die Aufbereitung der verschiedenen Umweltmedien verbrauchte Energiemenge entsprechend höher ausgefallen ist, stellen die im Zuge der Bodenaufbereitung verbrauchten 61.327 l Mineralöl die günstigste Verbrauchssituation dar.

Wetzlar: Die bei der Sanierung des Standortes Wetzlar tatsächlich angefallene Menge an kontaminierten Bodenaushub ließ sich nicht mehr rekonstruieren. Nachweislich sind allerdings mindestens die in Tab. 31 angegebenen 9.876,690 t kontaminierten Bodenaushubs einer thermischen Aufbereitung zugeführt worden. Im übertragenen Sinne stellt diese Menge den Mindestsanierungsbedarf des Standortes dar. Die bei der thermischen Aufbereitung des Materials verbrauchte Energiemenge entspricht, gemäß den o. g. Angaben, ca. 177.780,4 l Mineralöl.

3.3.4 Angefallene CO₂-Emissionen

Nachfolgend sind die ermittelten Emissionskennwerte dargestellt, die im Zuge der Bodenaufbereitung angefallenen sind. Die für die Berechnungen notwendigen Kennwerte wurden dem Kap. 3.3.3 entnommen, die mittlere CO₂-Emission von 2,4 kg CO₂ je verbrauchtem Liter Mineralöl dem Anhang VIII.

Aufgrund der o. g. Angaben werden sämtlichen Korrelationen die folgenden mittleren CO₂-Emissionswerte zugrundegelegt:

- 500 g CO₂ pro erzeugter Kilowattstunde Strom
- 2.400 g CO₂ pro verbranntem Liter Mineralöl

Da sich über die Energieverbräuche der eingesetzten Wasseraufbereitungsanlagen keine genauen Angaben ermitteln ließen, finden die entsprechenden Emissionen bei den weiterführenden Betrachtungen keine Berücksichtigung.

Parameter	Einheit	Standort			
		Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Verbrauchte Energieträger	l	(101.160,0)	(234.000,0)	61.327,9	177.780,4
Angefallene CO ₂ -Emissionen	t	(242,784)	(561,600)	147,187	282,673
Umweltmedium: Boden					

Tab. 32: Tabellarische Zusammenstellung der im Zuge der Aufbereitung verbrauchten Energiemengen ermittelten Emissionskennwerte. Die eingeklammerten Werte stellen zu erwartende Abschätzungen dar, wobei für Gießen der Mindestsanierungsbedarf berücksichtigt wurde.

Gießen: Für den Standort Gießen wird der Mindestsanierungsbedarf (siehe Kap. 3.3.1) herangezogen. Die bei der Umsetzung des erweiterten Sanierungsbedarfs verbrauchte Energiemenge von ca. 164.520 l Mineralöl würde dagegen die Emission von ca. 394,848 t CO₂ nach sich ziehen.

Marburg: Die für den Standort Marburg ermittelten Emissionen stellen eine Abschätzung dar, da sie auf dem prognostizierten Sanierungsbedarf (UEG 1995a) bzw. dem davon abgeleiteten Energieaufwand von ca. 234.000 l Mineralöl (siehe Kap. 3.3.3) basieren.

Weilburg: Entsprechend den in Kap. 3.3.3 dargestellten Energieaufwendungen, wirkt sich das Fehlen der, für die Aufbereitung der geförderten Grundwassermenge von ca. 1.664,130 m³ angefallenen, CO₂-Emissionen positiv auf die Gesamtemissionssituation des Standortes Weilburg aus.

Wetzlar: Für die Emissionsberechnungen des Standortes Wetzlar wird ausschließlich die ermittelte Mindestmenge an verbrauchten Energieträgern berücksichtigt. Die tatsächlich angefallenen Emissionen sind um den Energieverbrauch der Wasseraufbereitung sowie der sonstigen Energieverbräuche höher gewesen.

3.3.5 Monetäre Aufwendungen

Im Folgenden sind die, anhand der zur Verfügung stehenden Kostendaten der einzelnen Sanierungen, ermittelten monetären Kennwerte aufgelistet. Soweit möglich werden dabei für die einzelnen Sanierungsteilbereiche sowohl die Kosten pro einzeltem Sanierungsjahr als auch die über die gesamte Laufzeit der Maßnahmen angefallenen Gesamtkosten berücksichtigt.

Die detaillierte Übersicht der Einzelposten kann dem Anhang X entnommen werden.

Wie bereits in Kap. 3.2 erwähnt, mußten bei der Auswertung der monetären Daten eine Reihe von Konzessionen gemacht werden. Trotzdem wurden nicht nur die Endbeträge der einzelnen Rechnungen einer bestimmten Kenndatengruppe zugeordnet, sondern alle aufgelisteten Einzelposten auf ihre Zugehörigkeit zu den verschiedenen Kategorien hin überprüft.

Gießen: Aufgrund der vorliegenden Datensituation (siehe Kap. 5.) konnten für den Standort Gießen keine monetären Kennwerte ermittelt werden.

Marburg: Nachfolgend sind für den Standort Marburg die, aufgrund der vorliegenden Unterlagen (UEG 1995a), prognostizierten monetären Kennwerte als auch deren prozentuale Verteilung aufgeführt:

Kenn-datengruppe	Geschätzte Gesamtkosten	Prozentuale Verteilung
Bautechnik	1.000.000,00 DM	9,0 %
Sanierungstechnik	4.901.100,00 DM	44,3 %
Gutachter	12.500,00 DM	0,1 %
Analytik	350.000,00 DM	3,2 %
Entsorgung	4.596.000,00 DM	41,4 %
Eigen	222.500,00 DM	2,0 %
Sonstige	8.500,00 DM	< 0,1 %
Gebühren	–	–
Kenn-/Summenwert	11.090.600,00 DM	100 %

Tab. 33: Tabellarische Zusammenstellung der für den Standort Marburg ermittelten monetären Kennwerte sowie deren prozentuale Verteilung.

Weilburg: Für den Standort Weilburg wurden die folgenden monetären Kennwerte sowie deren prozentuale Verteilung ermittelt:

Kenndatengruppe	Sanierungsjahr			
	'90 + '91	1992	1993	1994
Bautechnik	8.457,54 DM	12.291,67 DM	3.941,20 DM	3.578,40 DM
Sanierungstechnik	9.590,35 DM	15.966,82 DM	68.320,81 DM	36.100,86 DM
Gutachter	1.480,00 DM	400,00 DM	9.861,25 DM	76.822,34 DM
Analytik	17.510,00 DM	7.195,00 DM	19.151,92 DM	1.210,00 DM
Entsorgung	15.256,65 DM	32.415,88 DM	41.537,50 DM	92.052,38 DM
Eigen	1.881,94 DM	12.699,45 DM	–	–
Sonstige	–	–	–	–
Gebühren	–	–	260,87 DM	–
Kennwert	54.176,48 DM	80.968,82 DM	143.073,55 DM	209.763,98 DM

Tab. 34a: Tabellarische Zusammenstellung der monetären Kennwerte des Standortes Weilburg. Im ersten Sanierungsjahr (1990) sind nur 1.920,16 DM an Entsorgungskosten angefallen.

Kenndatengruppe	Sanierungsjahr			
	1995	1996	1997	Gesamte Laufzeit
Bautechnik	123.475,09 DM	4.392,80 DM	–	156.136,70 DM
Sanierungstechnik	1.008.988,55 DM	738.505,55 DM	493,43 DM	1.877.966,37 DM
Gutachter	88.725,26 DM	45.649,20 DM	–	222.938,05 DM
Analytik	68.180,00 DM	50.645,00 DM	1.280,00 DM	165.171,92 DM
Entsorgung	946.573,17 DM	277.159,46 DM	–	1.404.995,04 DM
Eigen	–	–	–	14.581,39 DM
Sonstige	268,62 DM	813,29 DM	–	1.081,91 DM
Gebühren	–	–	–	260,87 DM
Kennwert	2.236.210,69 DM	1.117.165,30 DM	1.773,43 DM	3.843.132,25 DM

Tab. 34b: Tabellarische Zusammenstellung der monetären Kennwerte des Standortes Weilburg.

Kenndatengruppe	Sanierungsjahr			
	'90 + '91	1992	1993	1994
Bautechnik	0,2 %	0,3 %	0,1 %	0,1 %
Sanierungstechnik	0,3 %	0,4 %	1,8 %	0,9 %
Gutachter	< 0,1 %	< 0,1 %	0,2 %	2,0 %
Analytik	0,5 %	0,2 %	0,5 %	< 0,1 %
Entsorgung	0,4 %	0,9 %	1,1 %	2,4 %
Eigen	< 0,1 %	0,3 %	–	–
Sonstige	–	–	–	–
Gebühren	–	–	< 0,1 %	–
Summenwert	1,4 %	2,1 %	3,7 %	5,5 %

Tab. 35a: Tabellarische Zusammenstellung der prozentualen Verteilung der monetären Aufwendungen. Die in 1990 angefallenen Entsorgungskosten haben einen Anteil von < 0,1% an den Gesamtkosten.

Kenndatengruppe	Sanierungsjahr			
	1995	1996	1997	Gesamte Laufzeit
Bautechnik	3,2 %	0,1 %	–	4,0 %
Sanierungstechnik	26,3 %	19,2 %	< 0,1 %	48,9 %
Gutachter	2,3 %	1,2 %	–	5,8 %
Analytik	1,8 %	1,3 %	< 0,1 %	4,3 %
Entsorgung	24,6 %	7,2 %	–	36,6 %
Eigen	–	–	–	0,4 %
Sonstige	< 0,1 %	< 0,1 %	–	< 0,1 %
Gebühren	–	–	–	< 0,1 %
Kennwert	58,2 %	29,1 %	< 0,1 %	100 %

Tab. 35b: Tabellarische Zusammenstellung der prozentualen Verteilung der monetären Aufwendungen.

Wetzlar: Für den Standort Wetzlar wurden die folgenden monetären Kennwerte sowie deren prozentuale Verteilung ermittelt:

Kenndatengruppe	Sanierungsjahr		
	1992	1993	Gesamte Laufzeit
Bautechnik	385.595,01 DM	–	385.595,01 DM
Sanierungstechnik	2.238.791,85 DM	602.057,71 DM	2.840.849,56 DM
Gutachter	124.940,40 DM	59.005,48 DM	183.945,88 DM
Analytik	134.635,00 DM	157.490,00 DM	292.125,00 DM
Entsorgung	3.459.577,49 DM	550.783,55 DM	4.010.361,04 DM
Eigen	24.300,96 DM	31,95 DM	24.332,91 DM
Sonstige	1.760,56 DM	–	1760,56 DM
Gebühren	310,00 DM	–	310,00 DM
Kennwert	6.369.911,27 DM	1.369.368,69 DM	7.739.279,96 DM

Tab. 36: Tabellarische Zusammenstellung der monetären Kennwerte des Standortes Wetzlar.

Kenndatengruppe	Sanierungsjahr		
	1992	1993	Gesamte Laufzeit
Bautechnik	5,0 %	–	5,0 %
Sanierungstechnik	28,9 %	7,8 %	36,7 %
Gutachter	1,6 %	0,8 %	2,4 %
Analytik	1,8 %	2,0 %	3,8 %
Entsorgung	44,7 %	7,1 %	51,8 %
Eigen	0,3 %	< 0,1 %	0,3 %
Sonstige	< 0,1 %	–	< 0,1 %
Gebühren	< 0,1 %	–	< 0,1 %
Summenwert	82,3 %	17,7 %	100 %

Tab. 37: Tabellarische Darstellung der prozentualen Verteilung der monetären Aufwendungen.

3.4 Kennwerterelationen

Anhand der ermittelten sanierungsspezifischen Kennwerte (siehe Kap. 3.), z. B. der Menge an aufbereitetem Boden, Grundwasser oder der angefallenen Gesamtkosten, lassen sich bereits Vergleiche zwischen zwei abgeschlossenen Sanierungsmaßnahmen anstellen. Zudem können die Kostenparameter zur überschlägigen Kostenkalkulation bei ähnlich gelagerten Fällen herangezogen werden.

Allerdings lassen sich mit diesen Parametern weder Aussagen über die Nachhaltigkeit der jeweiligen Sanierung treffen, noch ist es möglich, optimierend in die Planung sowie den Verlauf einer zukünftigen Sanierungsmaßnahme einzugreifen. Prinzipiell ergibt sich diese Möglichkeit erst mit der Bildung von sanierungsspezifischen Relationen, die einerseits eine zeitlich differenzierte Aussage über Teilbereiche von Sanierungsmaßnahmen zulassen und andererseits auch die, im Zuge der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen ausgelösten, sekundären Umweltbelastungen mit in Betracht ziehen.

Daher werden in den folgenden Kapiteln die anhand der in verschiedenen Kenndatengruppen zusammengestellten Einzeldaten (siehe Kap. 3.2.) ermittelten Kennwerte (siehe Kap. 3.3), zu eben solchen sanierungsspezifischen Relationen zusammengestellt.

3.4.1 Emissionsrelationen

Nachfolgend sind die, sich aus der Aufbereitung von Bodenaushub sowie Abreinigung von Kontaminanten ergebenden, emissionspezifischen Kennwerterelationen der einzelnen Sanierungen dargestellt. Die Relationen sind dabei durch die sekundären Umweltbelastungen in Form von Emissionen klimarelevanter Gase (CO₂) charakterisiert.

Aus der Palette der verschiedenen Kontaminantengruppen wurde für die nachfolgenden Berechnungen exemplarisch die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) ausgewählt, die an allen Standorten dominiert.

Auf die Darstellung der im Zuge der Grundwasseraufbereitung anfallenden Emissionen mußte aufgrund fehlender Angaben zum Energieverbrauch der jeweiligen Anlagen verzichtet.

Parameter	Einheit	Standort			
		Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Aufbereiteter Bodenaushub	t	(5.620,000)	(13.000,000)	3.407,050	9.876,690
Abgereinigte PAK	kg	(14.781,000)	(22.000,000)	24.531,000	27.000,000
Verbrauchte Energie	l	(101.160,000)	(234.000,000)	61.327,900	117780,400
Angefallene CO ₂ -Emissionen	t	(242,784)	(561,600)	147,185	282,673

Tab. 38: Tabellarische Zusammenstellung der jeweils zur Ermittlung der sanierungsspezifischen Relationen notwendigen Kennwerte. Die eingeklammerten Werte stellen zu erwartende Abschätzungen dar, wobei für Gießen der Mindestsanierungsbedarf berücksichtigt wird.

Basierend auf dem Energieverbrauch von 18 Litern Mineralöl pro thermisch aufbereiteter Tonne Erd-aushub (siehe Kap. 3.3.3) sowie den bei der Verbrennung von einem Liter Mineralöl anfallenden Emissionen von ca. 2,4 kg CO₂ (siehe Kap. 3.3.4) ergibt sich eine Emissionsrelation von **ca. 43,2 kg CO₂ pro aufbereiteter Tonne Bodenaushub**.

Diese sanierungsspezifische Relation ist gleichermaßen für alle Standorte charakteristisch.

Gießen: Für den Standort Gießen kann aufgrund der o. g. Kennwerte eine mittlere Emissionsrelation von **ca. 16,4 kg CO₂ pro Kilogramm abzureinigender PAK** prognostiziert werden.

Marburg: Für den Standort Marburg kann aufgrund der o. g. Kennwerte eine mittlere Emissionsrelation von **ca. 25,5 kg CO₂ pro Kilogramm abzureinigender PAK** prognostiziert werden.

Weilburg: Für den Standort Weilburg wurde aufgrund der o. g. Kennwerte eine mittlere Emissionsrelation von **ca. 6,0 kg CO₂ pro Kilogramm abgereinigter PAK** ermittelt.

Wetzlar: Für den Standort Wetzlar wurde, anhand der o. g. Kennwerte, eine mittlere Emissionsrelation von **ca. 10,5 kg CO₂ pro Kilogramm abgereinigter PAK** ermittelt.

3.4.2 Kostenrelationen

Nachfolgend sind die, sich aus der Aufbereitung von Bodenaushub und Grundwasser sowie der Abreinigung von Kontaminanten ergebenden, monetären Kennwerterelationen der einzelnen Sanierungen dargestellt. Die Relationen sind dabei durch die im Zuge der Sanierungsmaßnahmen angefallenen Gesamtkosten charakterisiert.

Aus der Palette der verschiedenen Kontaminantengruppen wurde für die nachfolgenden Berechnungen exemplarisch die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) ausgewählt, die an allen Standorten dominierende

Parameter	Einheit	Standort			
		Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Aufbereiteter Bodenaushub	t	(5.620,000)	(13.000,000)	3.407,050	9.876,690
Abgereinigte PAK	kg	(14.781,000)	(22.000,000)	24.531,000	27.000,000
Angefallene Gesamtkosten	DM	–	(11.090.600,00)	3.843.132,25	7.739.279,96
Umweltmedium: Boden					

Tab. 39: Tabellarische Zusammenstellung der jeweils zur Ermittlung der sanierungsspezifischen Relationen notwendigen Kennwerte. Die eingeklammerten Werte stellen zu erwartende Abschätzungen dar, wobei für den Standort Gießen nur der Mindestsanierungsbedarf (siehe Kap. 3.3.1) berücksichtigt wird.

Parameter	Einheit	Standort			
		Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
Aufbereitetes Grundwasser	m ³	–	(30.000,000)	1.664,130	42.485,000
Abgereinigte PAK	kg	–	(235,020)	1,997	62,623
Angefallene Gesamtkosten	DM	–	(11.090.600,00)	3.843.132,25	7.739.279,96
Umweltmedium: Grundwasser					

Tab. 40: Tabellarische Zusammenstellung der jeweils zur Ermittlung der sanierungsspezifischen Relationen notwendigen Kennwerte. Die eingeklammerten Werte stellen zu erwartende Abschätzungen dar. Für den Standort Gießen lagen keine entsprechenden Angaben vor.

Gießen: Aufgrund der vorliegenden Datensituation können für den Standort Gießen keine sanierungsspezifischen Kostenrelationen prognostiziert werden.

Marburg: Für den Standort Marburg können aufgrund der für die Bodenaufbereitung ermittelten Kennwerte (siehe Kap. 3.3) die folgenden Kostenrelationen prognostiziert werden:

- **ca. 853,12 DM pro Tonne aufzubereitendem Aushub**
- **ca. 504,12 DM pro Kilogramm abzureinigender PAK**

Für die Aufbereitung von kontaminiertem Grundwasser kann für den Standort Marburg eine Kostenrelation von **ca. 369,69 DM pro Kubikmeter aufzubereitendem Grundwasser** prognostiziert werden. Auf die Ermittlung der Kosten, die pro abzureinigendem Kilogramm PAK zu erwartenden sind, wurde bewußt verzichtet, da der durch die Grundwasseraufbereitung erreichbare zusätzliche Reinigungserfolg, in Relation zu dem der Bodenaufbereitung, zu gering war.

Weilburg: Für den Standort Weilburg wurden anhand der, für die Bodenaufbereitung ermittelten, Kennwerte (siehe Kap. 3.3) die folgenden Kostenrelationen abgeleitet:

- **ca. 1.127,99 DM pro Tonne aufbereitetem Aushub**
- **ca. 156,66 DM pro Kilogramm abgereinigter PAK**

Zudem wurde für die Aufbereitung von kontaminierten Grundwasser am Standort Weilburg eine Kostenrelation von **ca. 2.309,39 DM pro Kubikmeter aufbereitetem Grundwasser** ermittelt. Auf die Ermittlung der, pro abgereinigtem Kilogramm PAK, angefallenen Kosten wurde bewußt verzichtet, da der durch die Grundwasseraufbereitung erreichte zusätzliche Reinigungserfolg, in Relation zu dem der Bodenaufbereitung, zu gering war.

Wetzlar: Für den Standort Wetzlar wurden anhand der, für die Bodenaufbereitung ermittelten, Kennwerte (siehe Kap. 3.3) die folgenden Kostenrelationen abgeleitet:

- **ca. 783,59 DM pro Tonne aufbereitetem Aushub**
- **ca. 286,64 DM pro Kilogramm abgereinigter PAK**

Zudem wurde für die Aufbereitung von kontaminierten Grundwasser am Standort Wetzlar eine Kostenrelation von **ca. 182,16 DM pro Kubikmeter aufbereitetem Grundwasser** ermittelt. Auf die Ermittlung der, pro abgereinigtem Kilogramm PAK, angefallenen Kosten wurde bewußt verzichtet, da der durch die Grundwasseraufbereitung erreichte zusätzliche Reinigungserfolg, in Relation zu dem der Bodenaufbereitung, zu gering war.

3.5 Diskussion

In den nachfolgenden Kapiteln werden die, bei der Untersuchung der vier Sanierungsmaßnahmen, ermittelten Erkenntnisse diskutiert.

Zudem werden für die verschiedenen Sanierungsbereiche Empfehlungen bzw. Forderungen ausgesprochen, die sich aus den Zustandsanalysen der vier untersuchten Sanierungen ergeben und an die Umsetzung zukünftiger Sanierungsmaßnahmen zu richten sind. Für alle der nachfolgenden Forderungen gilt die Prämisse, sie – soweit geeignet – im Rahmen aller Leistungsphasen, d. h. von der ersten Erkundung bis zur Sanierung bzw. Nachsorge eines Standortes, zu berücksichtigen.

3.5.1 Allgemeine Vorgehensweise

Nachfolgend werden die, aufgrund der zur Verfügung stehenden Unterlagen (siehe Kap. 6.), ermittelten Verfahrensweisen an den einzelnen Standorte diskutiert. Die Diskussion erfolgt, da letztendlich die jeweilige Verfahrensweise bei der Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen, die sich u. a. in den Daten der Ausgangssituation (siehe Kap. 3.1) widerspiegelt, auch zu den ermittelten Sanierungsergebnissen und damit zu den Kennwerten bzw. den Kennwerterelationen geführt hat.

Untergrundsituation: Prinzipiell wurde bei der Auswertung der Sanierungsunterlagen (siehe Kap. 6.) festgestellt, daß der Interpretation der geologischen Informationen nur wenig Bedeutung beigemessen wurde. Letztendlich ist dies auf eine nur teilweise Auswertung und entsprechende Interpretation der, im Rahmen von Erkundungsbohrungen bzw. Sondierungen angefallenen Daten, zurückzuführen. Dies wird besonders deutlich an der Art der Dokumentation von geologischen Profilschnitten der Untergrundverhältnisse an den einzelnen Sanierungsstandorten.

Die, im Zuge von Untersuchungsbohrungen, an den jeweiligen Standorten angetroffenen Schichten bzw. Untergrundveränderungen werden organoleptisch angesprochen, ggf. beprobt und in Bohrprotokollen festgehalten. Dabei erfolgt sowohl die Aufnahme der Bohrprotokolle als auch die anschließende Dokumentation der Standortverhältnisse, in Form von geologischen Profilen bzw. Profilschnitten, z. Z. noch primär nach ingenieurgeologischen Gesichtspunkten.

Diese Vorgehensweise ist, vor allem in Hinblick auf die Lockersedimente, deshalb problematisch, weil die geologischen Standortverhältnisse als die primären Steuerungsfaktoren der Sanierungsmaßnahmen anzusehen sind. Eine rein ingenieurgeologische Vorgehens- und Dokumentationsweise mag für die Erstellung von Bohrprotokollen akzeptabel sein, allerdings wird dadurch bereits das Risiko einer gravierenden Fehleinschätzung bei der Interpretation der Daten bzw. der Erstellung von geologischen Profilen deutlich erhöht.

Bei der Dokumentation der geologischen Verhältnisse aller untersuchten Standorte wurden insgesamt nur drei Schichtglieder – anthropogene Auffüllung, Lockersedimente und Festgestein – unterschieden. Entsprechend undetailliert (siehe Abb. 3) stellen sich die, den verschiedenen Gutachten beigelegten, Profilschnitte dar. Auf eine Modellierung des ursprünglichen Ablagerungsraumes bzw. -milieus wurde gänzlich verzichtet.

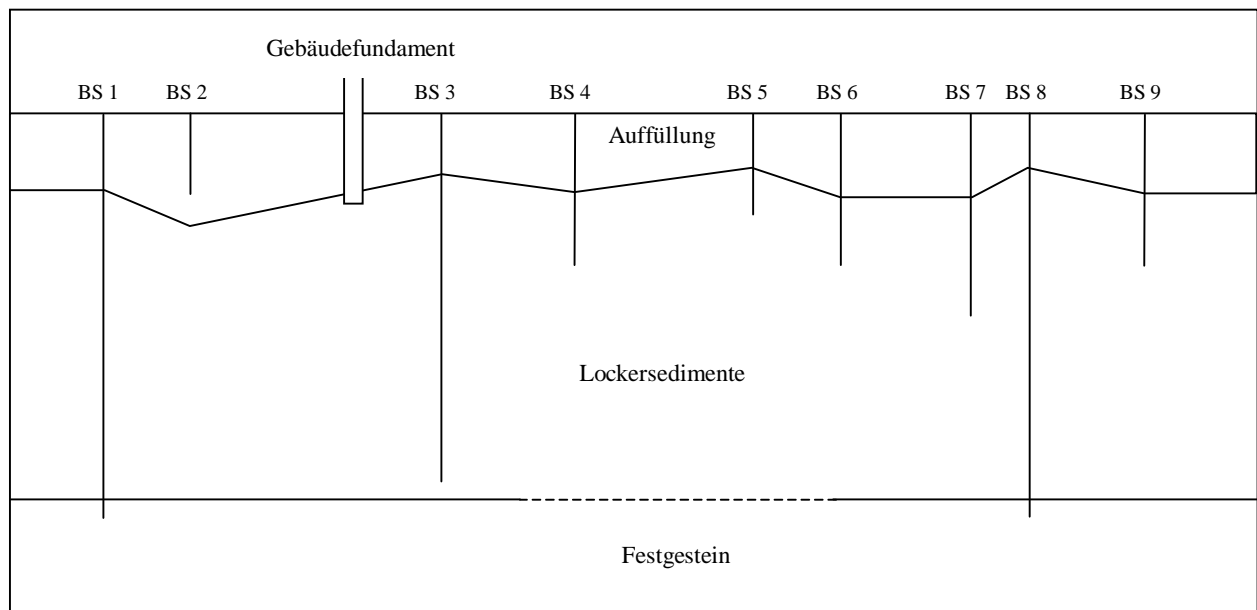


Abb. 3: Exemplarische Darstellung der bisher gängigen Dokumentationsweise der Untergrundverhältnisse von Sanierungsstandorten. Für die Profildarstellung wurde ein Maßstab von 1:200 gewählt (lange Bildseite ca. 24 m). BS = Bodensondierung, die gestrichelte Linie deutet eine Extrapolation an.

Aus Abb. 3 wird deutlich, daß die im Zuge der Sondierungen angefallenen Daten nicht interpretiert worden sind. So ist z. B. ein Schichtgrenzenverlauf zwischen der Auffüllung und den Lockersedimenten, selbst auf Standorten mit häufigen Produktionsverlagerungen, nicht in der dargestellten Weise zu erwarten. Dies ist auch besonders deshalb der Fall, da Schichtgrenzen über weite Bereiche hinaus extrapoliert wurden, obwohl keinerlei Informationen über deren tatsächliche Lage vorhanden sind. Im Bereich der Bodensondierung BS 2 ist dies für die Schichtgrenze zwischen Auffüllung und Lockersedimenten und im Bereich zwischen den Sondierungen BS 1 und BS 8 für die Grenze zwischen Lockersedimenten und Festgesteinsoberfläche der Fall. Zudem ist der Verlauf der Grenzschicht zwischen den Lockersedimenten und der Festgesteinsoberfläche aus geologischer Sicht als beliebig unwahrscheinlich anzusehen, auch wenn – wie am Beispiel der Abb. 3 geschehen – zumindest ein Teilstück der Schichtgrenze als Extrapolation kenntlich gemacht wurde.

Erfahrungsgemäß wird bereits bei der Standorterkundung nur das absolute Mindestmaß an Untergrundsondierungen angesetzt, entsprechend gering ist auch die Informationsausbeute. Dies geschieht vornehmlich aus Kostengründen und basierend auf der Überzeugung, daß sich auch mit höheren Sondierungsanzahlen keine absolute Gewißheit über die geologischen Verhältnisse und die Kontaminantenverteilung erwirken läßt. Trotz dieser Auffassungen beinhalten, aufgrund eines ebenfalls aus Kostengründen straffen Zeitplanes, die wenigsten Sanierungskonzepte die Möglichkeit flexibel auf unerwartete Vorkommnisse bzw. Veränderungen zu reagieren.

Bei realen Sanierungsfällen ist zudem, bedingt durch die geringere Anzahl an Sondierungen, der relative Abstand der Sondierungen zueinander größer als bei dem in Abb. 3 dargestellten Beispiel.

Außerdem stoßen Sondierungen auf Hindernisse im Untergrund wodurch sie nicht bis zur geplanten Tiefe ausgeführt werden können. Dies führt wiederum zu einem Informationsverlust und somit zu einer entsprechenden Erhöhung der Extrapolationen. Dabei potenziert sich das Risiko von Fehleinschätzungen proportional zu den ausgeführten Extrapolationen. Aufbauend auf einer undifferenzierten Dokumentation der Untergrundverhältnisse können letztendlich zwei Umstände entscheidend über zusätzliche Sanierungsanforderungen und somit auch über zusätzliche Umweltbeeinträchtigungen sein.

Einerseits kann es aufgrund einer Unterschätzung der Kontaminationsverhältnisse zu einer Unterdimensionierung der Sanierungsanforderungen kommen, dies hat zur Folge, daß im Zuge der Sanierungsmaßnahme nachgebessert werden muß. Diese Nachbesserungen führen i. d. R. zu Behinderungen des geplanten Sanierungsablaufes bzw. einer Verlängerung der eigentlichen Sanierungsdauer, zudem werden Zusatzkosten verursacht. Darüber hinaus bewirken sowohl die Nachforderungen als auch die Ablaufbehinderungen einen zusätzlichen maschinellen Einsatz, der wiederum zu einer Erhöhung der sekundären Umweltbeeinträchtigungen führt.

Andererseits kann es durch eine zu sehr verallgemeinerte Darstellungen der Kontaminationsverhältnisse zu einer Überschätzung und damit verbunden zu einer Überdimensionierung des Sanierungsbedarfs kommen. So ist z. B. der Betrieb einer überdimensionierten Grundwassersanierungsanlage wesentlich teurer und energieintensiver als der einer optimal dimensionierten. Zudem kann es durch die Überschätzung zur unnötigen Aufbereitung von Material kommen, das bei einer differenzierteren Abschätzung der Kontaminationsverhältnisse hätte separiert werden können, wodurch wiederum zusätzliche Kosten und Umweltbeeinträchtigungen ausgelöst werden.

Solche durch Fehleinschätzungen ausgelösten Zusatzbelastungen sind nicht nur für ex-situ Sanierungsverfahren, wie sie die Sanierung von ehemaligen Gaswerkstandorten erforderlich machen, typisch. Sie treten auch bei anderen Kontaminationssituationen bzw. im Zuge der entsprechenden Sanierungsplanungen, wie z. B. kombinierte Bodenluft und Grundwassersanierungen von chlorierten Kohlenwasserstoffen, in Erscheinung. Bei Sanierungsmaßnahmen, die von vornherein schon längere Laufzeiten implizieren, ergeben sich aus Fehleinschätzungen leicht extrem übersteigerte Sanierungsanforderungen, dies führen wiederum zu noch längeren Laufzeiten der Sanierungen (VOGT, A. W., WINDISCH, J. & ZANKL, H. 1995). Durch die verlängerten Laufzeiten kommt es wiederum zu einer unnötigen Erhöhung der durch die Sanierungsmaßnahmen ausgelösten sekundären Umweltbeeinträchtigungen.

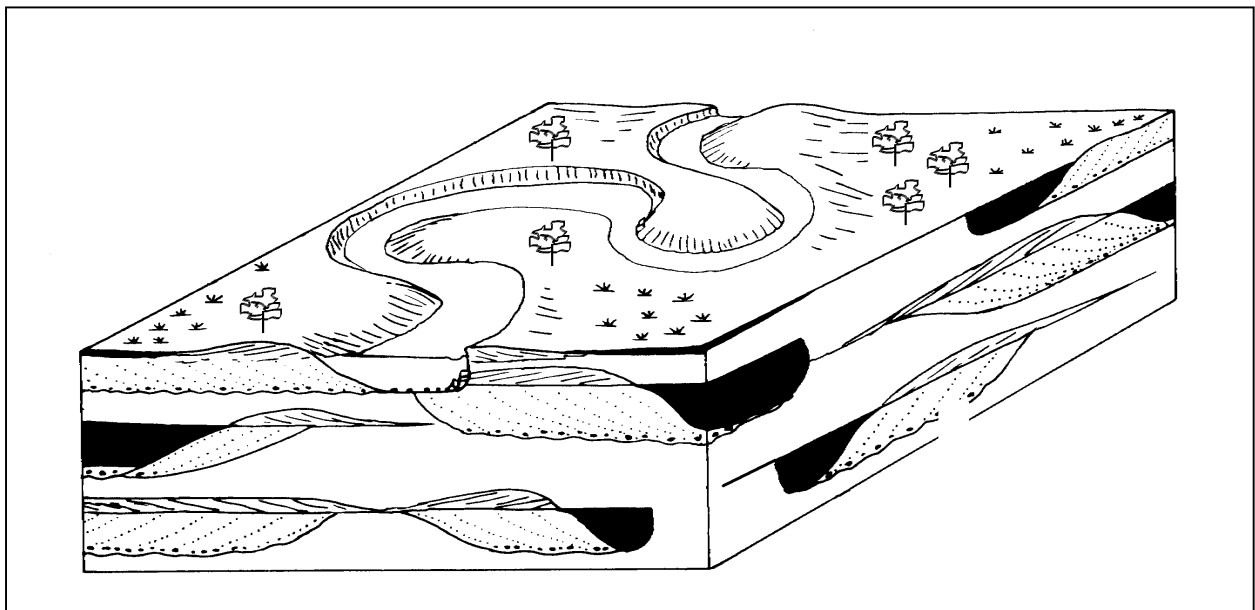


Abb. 4: Beispiel für eine dreidimensionale Modellierung eines ursprünglichen Ablagerungsmilieus. In einem alluvialen Überflutungsbereich aus siltig-sandigem Material hat sich ein meandrierender Fluß- oder Bachlauf eingeschnitten. Dabei sind die gröberklastischen bzw. kiesigen Bereiche **gepunktet** (fining up), die sandigen Bereiche **gestrichelt** (Schrägschichtung) und die Altarme **schwarz** dargestellt. Umgezeichnet und vereinfacht nach SELLEY (1988).

Mit einer detaillierten Aufnahme, Interpretation und Modellierung der Untergrundverhältnisse nach geologischen Gesichtspunkten (Abb. 4), basierend auf allen zur Verfügung stehenden Informationen, kann nicht nur das Risiko potentieller Fehleinschätzungen deutlich reduziert, sondern prinzipiell zur Minimierung der letztendlich durch die Sanierungsmaßnahme ausgelösten Umweltbeeinträchtigungen beigetragen werden.

Dies ist besonders deshalb der Fall, da sich anhand einer genau interpretierten bzw. modellierten Untergrundsituation eine möglichst detaillierte Darstellung der Untergrundverhältnisse ableiten läßt.

Zudem läßt sich für bestimmte Kontaminanten, mittels einer genau interpretierten bzw. modellierten und möglichst detaillierten dargestellten Untergrundsituation und unter Berücksichtigung der chemisch-physikalischen Stoffeigenschaften, deren Ausbreitungsverhalten im Untergrund rekonstruieren (siehe „Kontaminationssituation“).

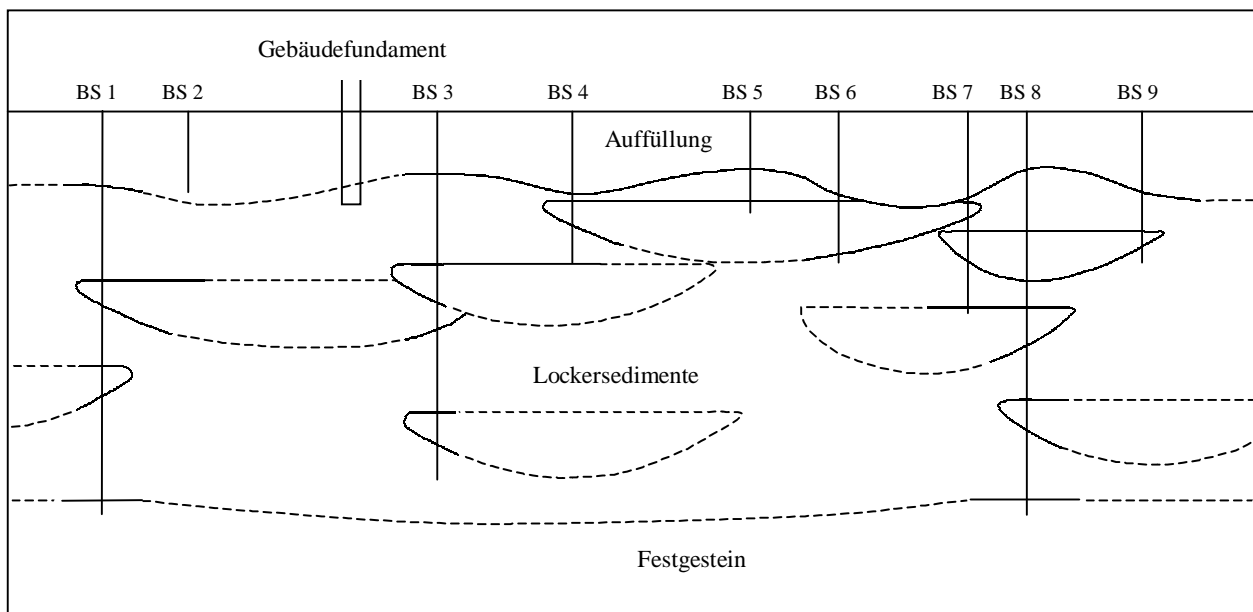


Abb. 5: Schematische Darstellung einer möglichen Interpretation der Untergrundverhältnisse eines Sanierungsstandortes. Dabei wird durch die linsenförmigen Strukturen ein, sich im Laufe der verlagerndes, fluviales Ablagerungssystem wiedergegeben. Die gestrichelten Linien verdeutlichen die vorgenommenen Extrapolationen, für Bereiche, in denen Sondierungen keine hinlänglichen Ergebnisse erbracht haben. Für die Profildarstellung wurde ein Maßstab von 1:200 gewählt (lange Bildseite ca. 24 m). BS = Bodensondierung.

Aufgrund der o. g. Tatsachen wird für zukünftige Sanierungsmaßnahmen empfohlen, bereits die bei der Aufnahme von Bohrprotokollen so detailliert als möglich vorzugehen und nicht nur nach ingenieurgeologischen Gesichtspunkten. Zudem sollte immer eine geologische Interpretation bzw. Modellierung des ursprünglichen Ablagerungsmilieus bzw. -raumes erfolgen (siehe Abb. 4). Ebenso sollte zur Sanierungsplanung immer die Dokumentation der geologischen Untergrundverhältnisse in Form von möglichst detaillierten Profilschnitten erfolgen (siehe Abb. 5). Dabei sollten die extrapolierten Bereiche deutliche gekennzeichnet sein.

Kontaminationssituation: Die Kontaminationssituation ehemaliger Gaswerkstandorte ist vorrangig durch das angetroffene Kontaminantenspektrum, die unterschiedlichen Kontaminanteneinträge bzw. -quellen sowie die betroffenen Umweltmedien charakterisiert. Die Ausbreitung und Anreicherung von Kontaminanten in den verschiedenen Umweltmedien ist über deren chemisch-physikalische Eigenschaften eng mit der jeweiligen Untergrundsituation verknüpft.

Wie bereits in Kap. 3.1.5 beschrieben, setzt sich das Kontaminantenspektrum der untersuchten Standorte überwiegend aus polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Cyanidverbindungen sowie Benzol und seine Homologen zusammen. Untergeordnet treten auch noch Mineralölkohlenwasserstoffe und Phenol bzw. seine Homologen in Erscheinung.

Bei ehemaligen Gaswerken liegen die Zeiträume der aktiven Produktion nicht selten bei ca. 100 Jahren. In dieser Zeitspanne führten die häufigen und zum Teil sehr kurzfristige Umbauten bzw. Erweiterungen der Produktionsanlagen, im Zuge einer ständig steigenden Nachfrage sowie technischen Weiterentwicklung der verschiedenen Produktionszweige, zu undokumentierten und damit schlecht rekonstruierbaren Kontaminanteneinträgen in den jeweiligen Standortuntergrund. Zu weiteren unkontrollierten Kontaminanteneinträgen kam es durch Kriegseinwirkungen. Außerdem verblieben bei der Stilllegung der Gaswerke, i. d. R. aufgrund des Fehlens einer wirtschaftlichen Folgenutzung der Standorte, die Produktionsreste in den verschiedenen Anlagenteilen bzw. Leitungswegen. Altersbedingte Beschädigungen dieser Leitungswege führten, verteilt über den seither verstrichenen Zeitraum von durchschnittlich ca. 30 Jahren, zu weiteren Kontaminanteneinträgen.

Neben der direkten Kontamination des Untergrundes mit residualen Teervorkommen unterschiedlicher Viskosität kommt es, durch Ausbreitung und Anreicherung im Standortuntergrund, auch zu Kontaminationen durch die Teerinhaltstoffe. Für die PAK-, Phenol- und BTEX-Kontaminationen sind daher die als vornehmliche und gemeinsame Quelle anzusehen (siehe Anhang II). Gegebenenfalls kann es auch durch angegliedert Produktionsbereich (Benzolfabrik) zu zusätzlichen Untergrundkontaminationen mit leichtflüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen kommen. Die PAK-Kontaminationen haben an allen Standorten den sowohl mengen- als auch flächenmäßig größten Anteil an der jeweiligen Kontaminationssituation. Danach folgen die Cyanidverbindungen, die vornehmlich auf die Ablagerung von verbrauchten Gasfiltermassen zurückzuführen sind, bzw. die aromatischen Kohlenwasserstoffe (siehe Anhang II). Sowohl die Phenole, analog der Zusammensetzung von Gaswerksteer, als auch die LHKW haben nur ein nachgeordnetes Kontaminationspotential.

Besonders durch die produktionsbedingten Veränderungen sowie den langfristigen Kontaminanteneintrag hat sich letztendlich an allen Standorten eine weitgehend flächige Kontaminantenverteilung im Untergrund, und dabei vor allem in den verschiedenen Bodenabschnitten, eingestellt. Entsprechend ist auf ehemaligen Gaswerkstandorten vornehmlich das Umweltmedium Boden sanierungsbedürftig. Zudem haben bereits durchgeführte Sanierungen gezeigt, daß eventuelle Grundwasserkontaminationen mit der Entfernung der Kontaminantenquellen (u. a. Teer- bzw. Teerölvorräte) aus den Bodenhorizonten deutlich rückläufig sind bzw. völlig unterbunden werden können (ECKERT et al. 1994). Diese Erkenntnisse stimmen daher auch mit der allgemeinen Vorgehensweise an den untersuchten Sanierungsstandorten überein.

Die Ausbreitung und Anreicherung der Kontaminanten im Untergrund ist vorrangig abhängig von deren chemisch-physikalischen Eigenschaften, den jeweils vorherrschenden Untergrundverhältnissen sowie dem seit Schadenseintritt verstrichenen Zeitraum. Bei den chemisch-physikalischen Eigenschaften handelt es sich, je nach Art der Kontaminanten bzw. Kontaminantengruppe, u. a. um:

- das spezifische Gewicht (g/cm^3),
- den Siedepunkt ($^{\circ}\text{C}$),
- die Viskosität (m^2/s),
- den Dampfdruck (kg/m^3),
- die Wasserlöslichkeit (g/l),
- die mikrobielle und Verfü- und Abbaubarkeit,
- die Adhäsion an organische Bodenbestandteile,
- das Sorptions- bzw. Desorptionsverhalten.

Für einige ausgewählte Kontaminanten ist ein Teil der o. g. Eigenschaften im Anhang IV dargestellt. Auf die möglichen Auswirkungen der verschiedenen Stoffeigenschaften soll an dieser Stelle jedoch noch nicht näher eingegangen werden.

Entsprechende Angaben wurden, zumindest teilweise, auch in den Sanierungsunterlagen dokumentiert. Diese Informationen sind als solche aber nur theoretischer Natur. Von effektivem Nutzen sind sie nur, wie bereits erwähnt, in Verbindung mit der möglichst genauen Kenntnis der jeweiligen Untergrundsituation der Sanierungsstandorte. Der Ermittlung der Untergrundverhältnisse wurde allerdings nur eine sehr geringe Bedeutung beigemessen, dies äußert sich u. a. in der Durchführung der verschiedenen Untersuchungsphasen sowie anhand der geologischen Profilschnitte der einzelnen Standorte (siehe „Untergrundsituation“). Folglich wurde auch der Modellierung der möglichen Ausbreitungswege bzw. Kontaminantenreservoirs im Untergrund nicht detailliert nachgegangen.

Die Abb. 6 zeigt, ein Beispiel für die Ausbreitung von Teerkontaminationen im Untergrund, in Abhängigkeit von bestimmten geologischen Strukturen. Außerdem wird aus dem Schemabild deutlich, wie es über das dargestellte Ausbreitungsverhalten hinaus, zur Bildung von Kontaminantenreservoirien kommen kann. Diese stellen, aufgrund ihrer Zusammensetzung (siehe Anhang II), dann fürderhin die eigentlich zu beseitigenden Kontaminantenquellen dar. Neben der Interpretation der möglichen Ausbreitungswege innerhalb der verschiedenen Lockersedimente kann es auch zu einer Ausbreitung der Kontaminanten in den Festgesteinen eines Sanierungsstandortes kommen. Diese Möglichkeit ist in Abb. 6 ebenfalls angedeutet. Ein solcher Fall wurde bereits in Kap. 3.1.5 für den Sanierungsstandort Wetzlar beschrieben (siehe auch KNOBLICH et al. 1993).

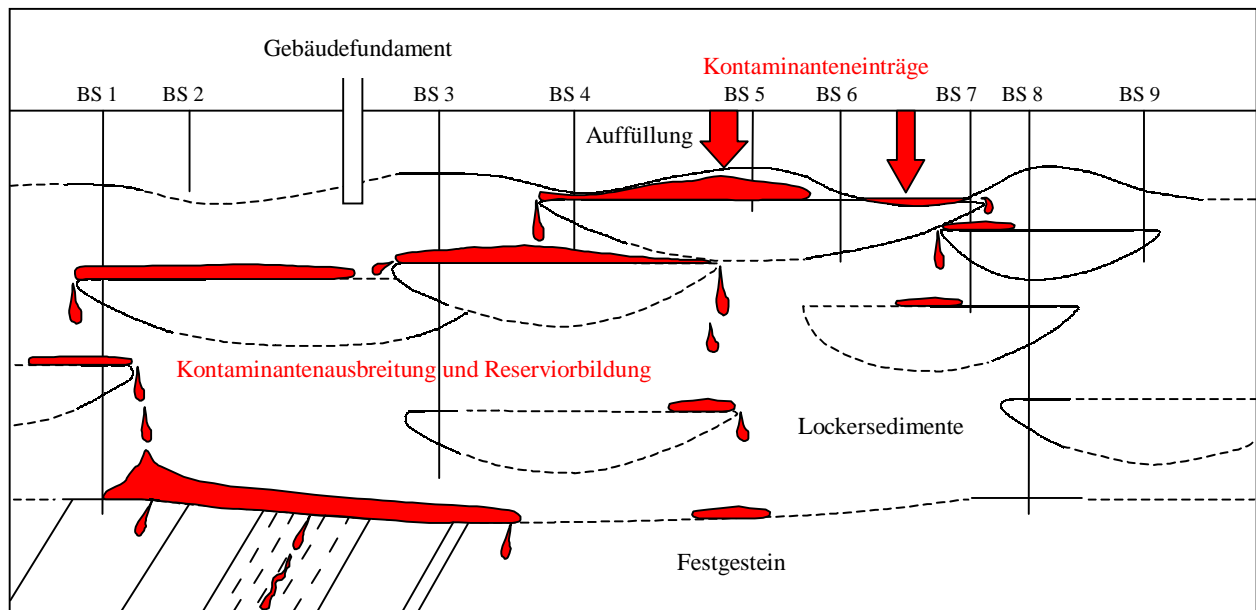


Abb. 6: Schematische Darstellung einer potentiellen Ausbreitungsmöglichkeit von gaswerkstypischen Teerkontaminanten (rot) in Abhängigkeit von einer grobklastischen Matrix und feinklastischen Einschaltungen. Für die Profildarstellung wurde ein Maßstab von 1:200 gewählt (lange Bildseite ca. 24 m). BS = Bodensondierung.

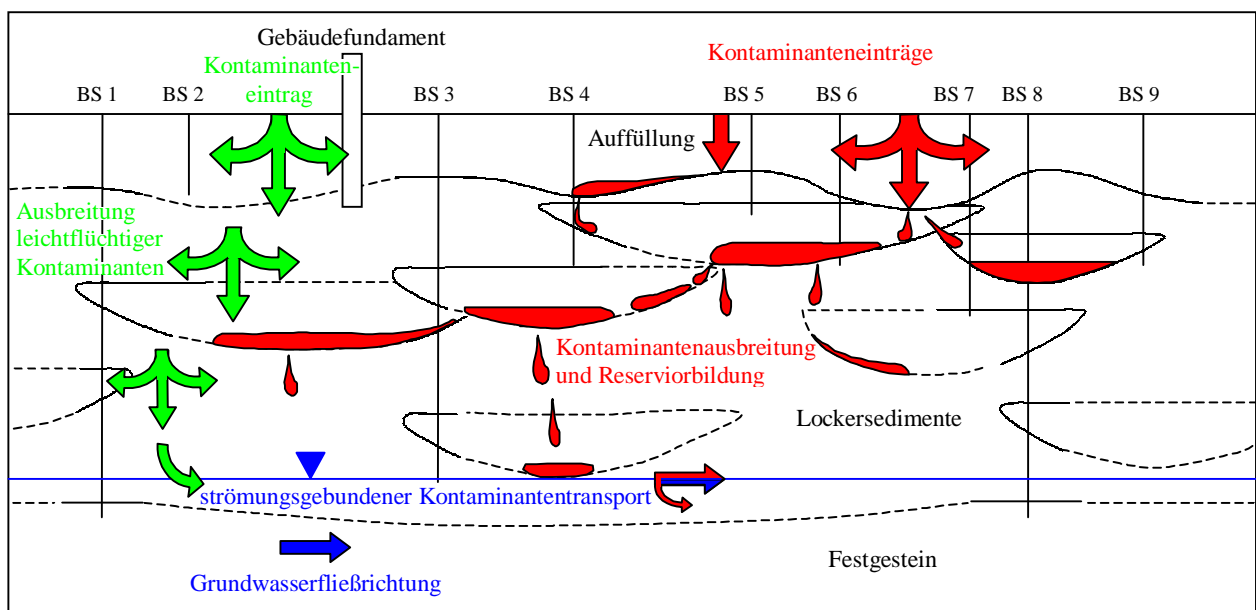


Abb. 7: Schematische Darstellung einer potentiellen Ausbreitungsmöglichkeit von gaswerkstypischen Kontaminanten – Teer bzw. Teeröl (rot) und BTEX (grün) – in Abhängigkeit von einer feinklastischen Matrix und grobklastischen Einschaltungen sowie dem Vorhandensein einer freien Grundwasseroberfläche (blau). Für die Profildarstellung wurde ein Maßstab von 1:200 gewählt (lange Bildseite ca. 24 m). BS = Bodensondierung.

Um die Abb. 7 nicht unnötig zu komplizieren wurden bewußt nur das übergeordnete Ausbreitungsverhalten sowie die Bildung von Teerreservoirs im Untergrund dargestellt.

Wären die Kontaminantenausbreitung nachweislich an bestimmte geologische Gegebenheiten gebunden so ließe sich im Vorfeld der Sanierung prinzipiell die zu erwartende Menge an aufzubereitenden Umweltmedien und damit verbunden auch die Menge an abzureinigenden Kontaminanten genauer abschätzen. Gegenüber der bisherigen Vorgehensweise könnte damit eine deutlich Optimierung erreicht werden. Es könnten alleine schon dadurch Kosten eingespart werden, daß die Voruntersuchung zwingend ein Bild des Standortuntergrundes liefern muß. Auf dieser Basis können dann die vertiefenden Folgeuntersuchungen aufbauen und bereits zu einem optimierten Ergebnis führen.

Aufgrund der o. g. Tatsachen wird für zukünftige Sanierungsmaßnahmen empfohlen, basierend auf den ermittelten Untergrundverhältnissen eine Interpretation bzw. Modellierung der Ausbreitungswege der Kontaminanten im Boden vorzunehmen. Dies sollte immer unter Berücksichtigung der chemisch-physikalischen Eigenschaften der am Sanierungsstandort vorliegenden Kontaminanten geschehen. Neben den Ausbreitungswegen sollten auch die Möglichkeiten potentieller Reservoirbildungen bzw. die Anreicherungen von speziellen Einzelstoffen oder Derivaten in Abhängigkeit von geologischen Untergrundverhältnissen nicht übersehen werden.

Zudem sollten in Zukunft die potentiellen Kubaturen an kontaminiertem Boden enger eingegrenzt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Verwendung eines Pauschalwertes für das spezifische Gewicht (z. B. 2,0 t/m³) zu überhöhten Abschätzungen führen kann. Daher sollte, um eine genauere Abschätzung der zu erwartenden Kubaturen und damit eine exaktere Kostenkalkulation zu ermöglichen, das spezifische Gewicht getrennt für die einzelnen Kontaminationsbereiche (Auffüllung, Lockersedimente und ggf. Festgestein) ermittelt werden.

Probenahme: Grundsätzlich sind in den zur Verfügung stehenden Unterlagen (siehe Kap. 6.) keine repräsentativen Informationen über die Beprobung der verschiedenen Umweltmedien enthalten. Nachfolgend werden daher auch nur allgemeine Aussagen zur Beprobung des Umweltmediums Grundwasser gemacht.

Prinzipiell ist zur Beprobung des Umweltmediums Grundwasser zu sagen, daß Schöpfproben die, ohne mehrmaliges vorheriges Klarpumpen der Entnahmestelle, zur Feststellung der hydrogeologischen Kontaminationssituation entnommen werden, als nicht hinreichend repräsentativ anzusehen sind. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, daß sich in den, durch die Sondierungen entstehenden, Hohlräumen ein sog. „Falleneffekt“ einstellen kann. Dabei kommt es ggf. zur kurzzeitigen Anreicherung von gelösten Kontaminanten innerhalb des Bohrlochs.

Diesem Effekt kann durch den Verzicht auf Schöpfproben und mit der ausschließlichen Entnahme von Pumpproben vorgebeugt werden. Für die Durchführung zukünftiger Untersuchungsmaßnahmen auf Altlasten wird daher empfohlen, nur entsprechende Grundwasserbeprobungen einzusetzen.

Sanierungsareale: Da die Eingrenzung der Sanierungsareale immer in Hinblick sowohl auf die jeweilige Kontaminationssituation als auch auf die letztendlich behördlicherseits festgelegten Eingreif- und Sanierungszielwerte geschieht, werden an dieser Stelle keine speziellen Empfehlungen gegeben. Vielmehr wird auf die vorangegangenen Empfehlungen in diesem Kapitel verwiesen, da sich Veränderungen an der bisher angewandten Sanierungsstrategie auch direkt auf die Ausweisung der Sanierungsareale auswirken.

Legislativer Rahmen: Letztendlich werden mit der Abstimmung des Sanierungsplanes auch die Eingreif- sowie die Sanierungszielwerte für den jeweiligen Standort festgelegt. Diese Werte sind die maßgeblichen Steuerungsfaktoren, die den Umfang der Sanierungen – z. B. die Menge an aufzubereitendem Boden – vorgeben. Damit sind sie auch für das Ausmaß an, durch die einzelnen Maßnahmen ausgelöst, sekundären Umweltbeeinträchtigungen ausschlaggebend.

Da aber bisher für das an den Standorten in erster Linie von Kontaminationen betroffenen Umweltmedium Boden keine bundeseinheitlichen Werte vorliegen, werden zur Festlegung entsprechender Vorgaben diverse Richtlinien bzw. Regelwerke herangezogen (siehe Kap. 3.1.7).

In den zur Verfügung stehenden Unterlagen fanden sich nur wenige Hinweise auf andere Argumentationsgrundlagen, die zur Festlegung der o. g. Vorgaben herangezogen worden sind. Da u. a. über

- die allgemeine Entwicklung der Kontaminationssituation innerhalb des seit Stilllegung verstrichenen Zeitraumes,
- die Selbstreinigung der Umweltmedien durch mikrobiellen Abbau der Kontaminanten,
- das Sorptions- und Desorptionsverhalten der Kontaminanten in Abhängigkeit von der jeweiligen Untergrundsituation,
- sowie über die tatsächliche ökotoxikologische Wirkung der einzelnen Kontaminanten

keine Angaben gefunden werden konnten, wird davon ausgegangen, daß diese Aspekte auch nicht berücksichtigt worden sind.

Dies spiegelt ein prinzipielles Problem wider. Da bei der Anwendung der verschiedenen Regelwerke häufig übersehen wird, daß die aufgeführten Daten nicht dem neusten Stand der Forschung entsprechen. Um u. a. diesem Defizit zu begegnen, wurden vom Gesetzgeber Handlungsspielräume vorgesehen, die i. d. R. aber nur partiell ausgeschöpft werden. So findet sich z. B. in der VwV zu § 77 des Hessischen Wassergesetzes für die Sanierung von Grundwasser- und Bodenverunreinigungen, 4. Absatz, Abschnitt (5) der gesonderte Hinweis auf die Verhältnismäßigkeit einer Sanierung: *„Die Maßnahmen müssen in einem angemessenen Verhältnis zum angestrebten Ziel stehen. Gegenüber schematischen Untersuchungen ist eine auf den Einzelfall bezogene und schrittweise Vorgehensweise vorzuziehen (Verhältnismäßigkeitsgrundsatz)“*.

Auf diese Weise können neue Forschungsergebnisse in die Sanierungsplanung einfließen, die dann wiederum zu einer deutlichen ökologischen und ökonomischen Optimierung der angestrebten Maßnahmen, z. B. durch die genauere Begrenzung der auszukoffernden bzw. aufzubereitenden Aushubchargen führen. Entsprechende Forschungsergebnisse die aufgrund des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes auch in die Sanierungsplanung einfließen sollten wurden u. a. von EISENMANN (1991), MENGEL & FRIEDBERG (1991), GRATHWOHL et al. (1995), GÖTZELMANN et al. (1996), RÜGENER et al. (1997), WISOTZKY & ECKERT (1997) sowie SCHMITT et al. (1998) erarbeitet.

Nach EISENMANN (1991) kommt es auf ehemaligen Gaswerkstandorten oft zur Umsetzung von kostspieligen und völlig unsinnigen Sanierungsmaßnahmen aufgrund einer Überbewertung der angetroffenen Cyanidkontaminationen. Diese bestehen i. d. R. nahezu durchweg aus ungiftigen Eisenkomplexen, wie z. B. dem optisch gut anzusprechendem Eisen^{III}-hexacyanoferrat^{II}, das auch als „Berliner Blau“ bezeichnet wird. Die bei der Gasreinigung gebildeten komplexen Eisen-Cyano-Verbindungen sind, im Gegensatz zu denen aus Galvanischen- bzw. Metallhärtungsprozessen, nur unter ausgesprochen stark sauren oder stark alkalischen Milieubedingungen zu freiem Cyanid umwandelbar. EISENMANN (1991) schlägt daher vor, das Gefährdungspotential einer Kontamination des Umweltmediums Boden mit Cyaniden bzw. die Deponierbarkeit von ausgehobenem Material nicht von dem Gesamtgehalt an Cyanidverbindungen sondern vielmehr von der Eluierbarkeit und dem Anteil an leicht freisetzbaren Cyanid abhängig zu machen.

Zudem geht laut MENGEL & FRIEDBERG (1991) vom Kontakt mit Bodenmaterial ehemaliger Gaswerkstandorte, aufgrund der i. d. R. geringen respirativen bzw. oralen Verfügbarkeit tatsächlich giftiger Cyanidverbindungen, keine akute und auch keine chronische Gefahr für den Menschen aus. Dies ist vornehmlich auf die Entgiftungsfunktion des menschlichen Organismus zurückzuführen. Die mittlere Entgiftungskapazität eines Erwachsenen liegt bei ca. 1 mg Blausäure pro 1 kg Körpergewicht innerhalb eines Zeitraumes von einer Stunde. Erstaunlicherweise entspricht dies der normalerweise, bei akuter Exposition, als Letaldosis angenommenen Menge. Der Entgiftungsprozeß erfolgt durch die Bildung von Rhodanid (Thiocyanat). Für die biochemische Umsetzung sind das Enzym Rhodanese sowie Thiosulfationen erforderlich. Entsprechend ist die Enzym- und Ionenverfügbarkeit für die Ablaufgeschwindigkeit des Umsetzungsprozesses ausschlaggebend. Als komplex gebundene Cyanide, von denen nach oraler Aufnahme nur geringe Mengen an freiem Cyanid resorbiert werden, werden von MENGEL & FRIEDBERG (1991) u. a. kolloidales und unlösliches Berliner Blau sowie Gelbes Blutlaugensalz angegeben. Daher wird von den o. g. Autoren auch für Eluatanalysen eine strenge Unterscheidung zwischen Gesamtcyanid und freiem Cyanid gefordert. Dies besonders auch deshalb, weil die Cyanidverbindungen auf Gaswerkstandorten nur eine Kontaminantengruppe darstellen, die aber bei weitem weniger dominant und problematisch ist als z. B. die der Teerprodukte.

Sowohl von GRATHWOHL et al. (1995) als auch von RÜGENER et al. (1997) wurden die Auswirkungen des Sorptionsverhaltens von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) im Untergrund ehemaliger Gaswerke untersucht. GRATHWOHL et al. (1995) führt an, daß sowohl das Sorptions- als auch das Desorptionsverhalten von Kontaminanten eine wichtige Grundlage für die sachgerechte Erstellung von Sanierungskonzepten darstellen. Durchgeführte Batch-Versuche deuten darauf hin, daß sich die molekulare Diffusion der Kontaminanten, sowohl aus resistent sorbierten PAK als auch deren Lösung aus residualer Teerphase, als der limitierende Desorptionsfaktor anzusehen ist. Entsprechend bedeutet dies für die Bewertung von Grundwassergefährdungen durch PAK-Kontaminationen, daß bei hohen Grundwasserabstands- bzw. Sickerwassergeschwindigkeiten auch in der Nähe stark kontaminierter Untergrundbereiche nur relativ gering Grundwasserkontaminationen auftreten können. Dies ist besonders bei Kontaminanteneinträgen zu erwarten, die längere Zeit zurückliegen und dadurch bereits die ersten Phasen der Desorption oder Lösung von Kontaminanten ins Grundwasser durchlaufen haben. In solchen Fällen beeinträchtigt das Desorptionsverhalten der Kontaminanten auch entscheidend die Effizienz von Sanierungsverfahren. Da besonders Bereiche sowie Materialien mit einer geringen Permeabilität, wie z. B. Tonlagen, feinporige Gesteinsfragmente sowie natürliches organisches Material die einer langfristigen Kontaminantenexposition ausgesetzt waren, aber auch residuale Kontaminantenphasen (Teer bzw. Teeröl) Langzeitquellen darstellen, deren vollständige Desorption bzw. Lösung zwischen 0,5 bis 100 Jahren in Anspruch nehmen kann.

Die Untersuchungen zum Sorptionsverhalten von hydrophoben organischen Stoffen am Bsp. des Phenanthrens (PAK) in heterogenem Aquiversedimenten von RÜGENER et al. (1997) haben gezeigt, daß ein direkter Zusammenhang zwischen der Sorption von Kontaminanten und bestimmten physikalisch-chemischen Parametern der petrographischen Komponenten, u. a. dem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff, der Intrapartikelporosität sowie der Dichte, besteht. Darüber hinaus wurde gezeigt, daß die einzelnen Sedimentkomponenten in ihrem Sorptionsverhalten keine signifikanten Unterschiede zu den ursprünglichen Liefergesteinen aufweisen. Dagegen zeigen die einzelnen Komponentenfraktionen der untersuchten Sedimente deutliche Unterschiede im Sorptionsverhalten, da die Kalkkomponenten einen deutliche höheren Sorptionskoeffizienten aufwiesen als die untersuchten Quarzkomponenten.

Von GÖTZELMANN et al. (1996) wurde die allgemeine Bedeutung der 16 US EPA-PAK als Grundwasserkontaminanten im Bereich zweier Gaswerkstandorte untersucht. Prinzipiell hat sich dabei gezeigt, daß sich die Nachweishäufigkeit umgekehrt proportional zur Komplexität der PAK verhält. Dagegen wurden diejenigen PAK, die eine hohe Nachweishäufigkeit aufwiesen auch in entsprechend höheren Konzentrationen nachgewiesen, als solche mit einer nur geringen Nachweishäufigkeit. Vornehmlich treten aber nur acht der sechzehn EPA-PAK, nämlich Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Anthracen, Fluoren, Phenanthren, Fluoranthren sowie Pyren, in Erscheinung. Diese verursachen an den untersuchten Standorten ca. 90 % der gesamten PAK-Kontamination des Grundwassers. Zudem wurde eine deutliche Abhängigkeit der Grundwassergängigkeit von der Anzahl der, in den PAK-Molekülen vorliegenden „Kerne“ (Benzolringe) beobachtet. Danach nimmt die Wasserlöslichkeit mit zunehmender Größe des PAK-Moleküls bzw. der steigenden Ringzahl ebenso ab wie der Dampfdruck. Im Gegensatz dazu zeigen die PAK mit steigender Größe tendenziell eine steigende Sorptionsneigung.

Nach der deutschen Trinkwasserverordnung werden allerdings gerade sechs mehrkernige PAK, nämlich Fluoranthren, Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(g,h,i)perylen sowie Indeno(1,2,3-cd)pyren, berücksichtigt. Von diesen kommt jedoch nur Fluoranthren eine Bedeutung hinsichtlich seines Grundwassergängigkeitspotentials zu. Daher schlagen GÖTZELMANN et al. (1996) vor, zumindest für die Ermittlung der PAK-Kontaminationssituation von Gaswerkstandorten die o. g. acht PAK als ausreichend anzusehen. Damit könnte der bisher übliche Standardanalyseaufwand, der rein formal die 16 EPA-PAK umfaßt, um die Hälfte reduziert werden.

Untersuchungen bezüglich BTEX-Kontaminationen des Grundwassers auf Gaswerkstandorten von WISOTZKY & ECKERT (1997) haben gezeigt, daß ein natürlicher oxidativer Abbau der Kontaminanten durch Sauerstoff, Manganoxide, Nitrat, Eisenoxide und Sulfat stattfindet. Dieser Abbau äußert sich u. a. in einer erhöhten Kohlendioxidkonzentration sowohl im Grundwasser als auch in der Bodenluft über der Grundwasserkontamination. Dies ist vor allem für die Planung und Umsetzung einer in-situ Grundwassersanierung von Bedeutung.

Von SCHMITT et al. (1998) wurde der Abbau aromatischer Kohlenwasserstoffe sowie der dabei entstehenden Metabolitenbildung im Grundwasserleiter eines ehemaligen Gaswerkstandortes unter sulfat-reduzierenden Bedingungen untersucht. Dabei hat sich gezeigt, daß die mikrobiologischen Abbauprozesse von organischen Kontaminanten ein komplexes System darstellen, das durch äußere Einwirkungen leicht beeinflußbar ist. So führt z. B. der Eintrag von Sauerstoff, bedingt durch die Auskofferung von Material aus der ungesättigten Bodenzone, zu einer Störung des anaeroben Kontaminantenabbaus. Dies äußert sich in einem kennzeichnenden Anstieg der Gehalt an BTEX, Metaboliten sowie Sulfat im Grundwasser.

Technische Umsetzung: Prinzipiell ist die Umsetzung einer Sanierungsmaßnahme von einer Reihe limitierender Faktoren abhängig:

1. den betroffenen Umweltmedien,
2. der Kontaminationssituation,
3. den Untergrundverhältnissen sowie
4. der geplanten Folgenutzung.

Darüber hinaus läßt sich, wie bereits in diesem Kapitel (siehe „Kontaminationssituation“) dargelegt, die jeweilige Kontaminationssituation in Kontaminantenspektrum, Kontaminantenquellen sowie chemisch-physikalische Eigenschaften der Kontaminanten differenzieren. Ferner spielt die seit Schadenseintritt verstrichene Zeit und somit auch eventuelle Verlagerungs- sowie Lösungs- bzw. Abbaureaktionen eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Allerdings bleibt ein Teil dieser Aspekte bei dem bisher gängigen geprägten Ansatz häufig unberücksichtigt. Es werden vornehmlich das Kontaminantenspektrum, die betroffenen Umweltmedien sowie die verfahrenstechnische Realisierbarkeit betrachtet. Auf dieser Basis die Frage zu klären, wie nun die optimalste Sanierungslösung aussieht, wird daher auch häufig das Instrumentarium des Variantenvergleiches herangezogen (siehe Kap. 1.).

Da sich ein Variantenvergleich aber primär auf den Vergleich einzelner Sanierungsverfahren beschränkt, d. h. es werden die technischen Vor- bzw. Nachteile gegeneinander abwägt, kann nicht davon ausgegangen werden, daß ein solcher Vergleich gleichzeitig auch die ökologisch sowie ökonomisch sinnvollste Lösung darstellt.

Aufgrund der nur ungenau zu lokalisierenden Kontaminationsherde, in Verbindung mit den punktuell sehr hohen Kontaminantenkonzentrationen sowie unklaren bzw. inhomogenen Untergrundverhältnissen eignen sich in-situ Verfahren nicht zur Sanierung von Gaswerkstandorten. Laut KNOBLICH et al. (1993) wurde aus entsprechenden Gründen eine in-situ Sanierungen für den Standort Wetzlar von vornherein verworfen. Zudem hätten Versuche gezeigt, daß mit den ursprünglich geplanten ex-situ aber „on site“ Sanierungsverfahren keine befriedigenden Ergebnisse zu erzielen gewesen wären. Zum einen, da bei dem Verfahren der Bodenwäsche aufgrund des hohen Schluff bzw. Feinkornanteils in den kontaminierten Bodenmassen, mit zu großen Mengen an kontaminiertem Schlammrückstand zu rechnen gewesen wären. Und zum anderen, da sich aus der mikrobiologischen Sanierung zu lange Laufzeiten ergeben hätten. Den zur Verfügung stehenden Unterlagen (siehe Kap. 6.) konnten hierzu allerdings keine detaillierten Informationen entnommen werden.

Aus den zusammengetragenen Informationen läßt sich somit ableiten, daß die thermische ex-situ Aufbereitung des kontaminierten Bodenmaterials, in Verbindung mit einer Grundwasseraufbereitung im Rahmen notwendiger Wasserhaltungsmaßnahmen, der untersuchten Standorte die Verfahrenskombination mit der wahrscheinlich effektivsten Reinigungsleistung darstellt.

Hingegen lassen alle Sanierungsmaßnahmen, aufgrund des undifferenziert ermittelten bzw. vorgegebenen Sanierungsumfangs, ein deutliches Steigerungspotential sowohl der ökologischen als auch der ökonomischen Effizienz erkennen.

Kenndaten: Im allgemeinen ist davon auszugehen, daß ein Großteil der in Kap. 3.2.1 aufgeführten sanierungstechnischen Daten im Rahmen der Sanierungsmaßnahmen angefallen, aufgrund der bisher gängigen Sanierungspraxis aber nicht entsprechend dokumentiert worden ist. Ferner wurden von den dokumentierten Daten wiederum nur ein Teil tatsächlich im Rahmen der Sanierungsdurchführung genutzt. Welche sanierungstechnischen Daten im einzelnen jeweils erhoben werden konnten, wurde bereits in den vorangegangenen Kapiteln zu den verschiedenen Teilbereichen der Sanierungen näher erläutert.

Infolge der inhomogenen Struktur der sanierungstechnischen Daten wurde ein besonderer Schwerpunkt auf die Auswertung der verschiedenen Leistungsabrechnungen gelegt, da erwartet wurde, dort einen Großteil der benötigten Daten übersichtlich und zeitlich geordnet erheben zu können. Dabei hat sich allerdings gezeigt, daß auch in diesem Bereich starke Differenzen zwischen den einzelnen Dokumentationsweisen existieren.

Mit einer bereits in der Ausschreibung vorgegebenen Abrechnungsweise aller zu erbringenden Leistungen ließe sich eine einheitliche Datenstruktur erreichen. Da aber alle Firmen nachweislich (siehe Kap. 5) eine andere Dokumentationsweise und somit u. a. auch unterschiedliche interne Rechnungswesen haben, wäre es extrem diffizil und kostenintensiv, dieses ggf. für jeden Auftraggeber neu und jeweils anders zu gestalten. Daher ist es als illusorisch anzusehen, zu verlangen, daß alle an einer Sanierung beteiligten Firmen ihre Rechnungslegung mit jeder Sanierung neu an ein bereits mit der Ausschreibung vorgegebenes Dokumentationsschema anpassen.

Zudem kann der Ablauf von Altlastensanierungen nicht mit absoluter Sicherheit bis ins kleinste Detail vorhergeplant werden. Um auf unvorhersehbare Veränderungen in der Ablaufplanung angemessen reagieren zu können, muß es daher den sanierungsausführenden Firmen überlassen bleiben, wie sie geforderte Leistungen, z. B. personelle Aufwendungen, einschätzten und auch anbieten.

Allerdings besteht bei jeder Rechnungslegung – trotz aller Individualität – die Möglichkeit, tatsächlich erbrachte Leistungen näher zu spezifizieren, es wird daher empfohlen, von dieser Möglichkeit bei zukünftigen Sanierungsmaßnahmen verstärkt Gebrauch zu machen. Grundsätzlich stellen die Rechnungslegungen der an der Durchführung der Sanierungen beteiligten Firmen das effizienteste Instrumentarium dar, um diejenigen sanierungsspezifischen Daten zu erheben, die sowohl die ökologische als auch die ökonomische Optimierung von Sanierungsmaßnahmen weiter vorantreiben können.

Da die Aufschlüsselung der einzelnen Posten z. Z. schon beziehungsreich genug ist, wurde in der vorliegenden Arbeit auf die Erstellung von sog. Formblättern für eine einheitliche Organisation und Kontrolle der Leistungsabrechnung bewußt verzichtet.

Kennwerte: Prinzipiell werden durch die Zusammenstellung der Kenndaten in verschiedene Kenn-datengruppen und damit auch durch die sich aus dieser Zusammenstellung ergebenden Kennwerte (aufbereitete Umweltmedien, abgereinigte Kontaminanten, Energieaufwand sowie angefallene CO₂-Emissionen und monetäre Kennwerte) allgemeine Unterschiede und Gemeinsamkeiten der einzelnen Standorte sichtbar.

Durch die detaillierte Analyse der monetären Kennwerte wird ferner deutlich, welche Daten für alle Standorte als Vergleichsgrößen zur Anwendung kommen können und welche auf keinen Fall in eine komparative Betrachtung einfließen sollten. Gleichzeitig wird erkennbar, welche Hilfsparameter, die bei allen Standorten fast gleichrangige Bedeutung haben, zur Verfügung stehen.

Prinzipiell erlauben es die ermittelten Kennwerte, die Ergebnisse bzw. Auswirkungen zukünftiger Sanierungsmaßnahmen bereits im Vorfeld etwaiger Maßnahmen größenordnungsmäßig abzuschätzen. Voraussetzung hierfür ist, daß sowohl die Standortbedingungen dieser Areale als auch die allgemeine Vorgehensweise eine möglichst hohe Übereinstimmung mit den hier untersuchten Fällen erkennen lassen.

Monetäre Kennwerte: Generell wird aus der in Tab. 41 dargestellten prozentualen Verteilung der monetären Kennwerte der Standorte Weilburg und Wetzlar deutlich, daß die vornehmlich Sanierungskosten verursachenden Faktoren größenordnungsmäßig eine Übereinstimmung zeigen.

Kenndatengruppe	Standort			
	Weilburg	Wetzlar	Ø Durchschnitt	Marburg
Bautechnik	4,0 %	5,0 %	4,5 %	9,0 %
Sanierungstechnik	48,9 %	36,7 %	42,8 %	44,3 %
Gutachter	5,8 %	2,4 %	4,1 %	0,1 %
Analytik	4,3 %	3,8 %	4,0 %	3,2 %
Entsorgung	36,6 %	51,8 %	44,2 %	41,4 %
Eigen	0,4 %	0,3 %	0,4 %	2,0 %
Sonstige	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %
Gebühren	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	–
Summenwert	100 %	100 %	100 %	100 %

Tab. 41: Tabellarische Zusammenstellung der prozentualen Verteilung der tatsächlich angefallenen Teilbereichskosten der Standorte Weilburg, Wetzlar und der aus diesen Kennwerten abgeleiteten Durchschnittswerte sowie die prozentuale Verteilung der für den Standort Marburg prognostizierten Teilbereichskosten (siehe auch Kap. 3.3.5).

Obwohl zwischen den ehemaligen Werksgeländen der Standorte Weilburg und Wetzlar ein deutlicher Größenunterschied besteht (siehe Kap. 2.2), differieren die Anteile an den Gesamtkosten, die für die Erbringung von bautechnischen Leistungen aufgewendet werden mußten, nur um $\pm 0,5\%$ vom ermittelten Durchschnittswert (siehe Tab. 41). Dagegen wurden für den Standort Marburg die für bautechnische Leistungen aufzuwendenden Finanzmittel mit 9% genau doppelt so hoch veranschlagt wie der ermittelte Durchschnitt. Als Erklärung hierfür kann, neben der Arealgröße (siehe Kap. 2.2), die Tatsache herangezogen werden, daß von der Sanierung auch Grundstückteile betroffen sind, auf denen sich bereits private Bau-substanz befindet. Diese muß zur Sanierung des Untergrundes entfernt und anschließend ordnungsgemäß wiederhergestellt werden.

Mit 44,3% liegen die für die Sanierung des Standortes Marburg prognostizierten sanierungstechnischen Leistungen etwas über dem für diesem Sanierungsbereich ermittelten Durchschnitt von 42,8%. Dafür liegen die prognostizierten Entsorgungsleistungen mit 41,4% etwas unter dem ermittelten Durchschnitt von 44,2%. Allerdings liegen beide Werte noch deutlich innerhalb der Schwankungsbereiche des jeweiligen Teilbereiches.

Die größte Abweichung von den ermittelten Durchschnittswerten besteht bei den erwarteten Leistungen für gutachterliche Tätigkeiten. Der entsprechende Prozentsatz liegt mit 0,1% drastisch unter dem mit 4,1% ermittelten Durchschnitt. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß die veranschlagten Kosten für diesen Sanierungsteilbereich tatsächlich deutlich höher ausfallen werden, als im Sanierungsplan (UEG 1995a) vorausgesagt.

Der für den Bereich der chemischen Analytik erwartete Anteil an den Gesamtkosten liegt mit 3,2% ebenfalls etwas unter dem ermittelten Durchschnitt von 4%. Auch wenn der tatsächliche Kostenanteil letztendlich höher ausfallen sollte, kann der erwartete Prozentsatz zumindest als größenordnungsmäßig realistisch eingestuft werden.

Im Gegensatz zu den Leistungen für Sanierungstechnik sowie Entsorgung wurde der Anteil an Eigenleistungen, die von den sanierungspflichtigen Stadtwerken am Standort Marburg erbracht werden sollen, mit 2% fünf Mal so hoch veranschlagt, wie der ermittelte Durchschnitt. Bei dem relativ niedrigen Durchschnittswert von 0,4% ist allerdings zu berücksichtigen, daß für die Standorte Weilburg und Wetzlar überwiegend nur fachtechnische Arbeiten zur Instandhaltung der öffentlichen Versorgungsnetze (Strom, Gas und Wasser) berücksichtigt werden konnten.

Nicht berücksichtigt werden konnte dagegen der Teil an personellen Aufwendungen, der sich aus der Notwendigkeit der Betreuung der Sanierung durch einen Angestellten der sanierungspflichtigen Stadtwerke ergibt.

Für den Standort Marburg wurde dieser Posten in die Kostenkalkulation einbezogen. Dies erklärt den deutlich höheren Anteil an prognostizierten Eigenleistungen, der ohne die für die Sanierungsbetreuung veranschlagten Kosten nur etwas mehr als die Hälfte betragen würde. Da in Bezug auf die Leistungserfüllung im Rahmen der eigentlichen Sanierungsmaßnahmen eine relative geringe Planungssicherheit besteht, ist damit zu rechnen, daß letztendlich der tatsächlich im Zuge der Sanierung erbrachte Anteil an Eigenleistungen mindestens in der prognostizierten Höhe ausfallen wird.

Die für die Bereiche der sonstigen Leistungen sowie der behördlichen Gebühren ermittelten Durchschnittswerte liegen noch unter 0,1% der jeweiligen Gesamtkosten. Damit sind sie für die Gesamtbetrachtung nicht direkt ausschlaggebend, dürfen aber auch nicht einfach vernachlässigt werden. Allerdings ist der zusätzliche Informationsgewinn nicht proportional zum entstehenden Arbeitsaufwand. Es wird daher empfohlen, zumindest die für behördlichen Gebühren angefallenen Kosten, nicht als einen eigenständigen Teilbereich auszuweisen, sondern ihn stattdessen einem anderen Teilbereich anzugliedern. Für den Bereich der behördlichen Gebühren bietet sich eine Angliederung an die Entsorgung- bzw. Verwertungsleistungen an, da die Kosten i. d. R. auch mit diesen Leistungen verknüpft sind.

Für die sonstigen Leistungen kann keine eindeutige Beziehung zu einem Einzelnen der anderen Teilbereiche festgestellt werden. Es wird daher empfohlen, die Leistungen entweder in einer eigenen Gruppe zusammenzustellen oder sie auf mehrere der anderen Gruppen zu verteilen. Dabei kann allerdings vornehmlich von einer Zuordnung der sonstigen Kosten zu den Gruppen der Leistungen für gutachterliche Tätigkeiten und der Eigenleistungen ausgegangen werden.

Zusammengenommen machen die Bereiche der Leistungen für Sanierungstechnik und Entsorgung des Standortes Weilburg 85,5% und die des Standortes Wetzlar 88,5% der angefallenen Gesamtkosten der jeweiligen Sanierung aus. Für den Standort Marburg ergibt sich für die beiden Teilbereiche ein Anteil von insgesamt 85,7% der potentiell zu erwartenden Sanierungskosten. Es kann daher geschlußfolgert werden, daß die beiden Teilbereiche zusammengenommen, jeweils ca. 85% bis ca. 89% der Gesamtkosten einer Sanierung – mit den in Kap. 2.1 beschriebenen Grundvoraussetzungen – ausmachen, auch dann, wenn die prozentuale Verteilung der einzelnen Teilbereiche jeweils unterschiedlich ist.

Zudem wird aus den monetären Kennwerten deutlich, daß miteinander Optimierung einer Sanierungsmaßnahme, die im Bereich der Sanierungstechnik und/oder der Entsorgung ansetzt, die größte ökonomische Effizienzsteigerung erreicht werden kann. Dies bedingt im Falle der thermischen Aufbereitung automatisch auch eine ökologische Effizienzsteigerung, da die beiden Bereiche direkt miteinander verknüpft sind.

Gegenüber allen anderen Leistungen sollten die bautechnischen Leistungen auf keinen Fall in eine komparative Betrachtung einfließen, da diese Leistungen auch dann angefallen wären, wenn die Sanierung der Standorte nicht notwendig gewesen, der Standort dafür aber einer anderen Nutzung zugeführt worden wäre. Entsprechendes gilt natürlich auch für die im Zuge der Erbringung der bautechnischen Leistungen angefallenen Emissionen.

Aufgrund der vorangehend bereits dargestellten Problematik, muß neben den Leistungen für die Bautechnik auch der Bereich der Eigenleistungen kritisch betrachtet werden. Der tatsächliche Anteil dieser Leistungen ist, unter Berücksichtigung der personellen Aufwendungen für die Betreuung der Sanierungsmaßnahme, deutlich höher anzusetzen als der ermittelte Durchschnitt von 0,4%.

Kennwerterelationen: Abgesehen von den CO₂-Emissionen, die pro Tonne aufbereitetem Bodenaushub angefallen sind, wird Anhand der Kennwerterelation deutlich, innerhalb welchen Schwankungsbereiches sich die verschiedenen Relationen der einzelnen Standorte bewegen können.

In Anlehnung an die Diskussion der monetären Kennwerte sollten die Kostenrelationen der Sanierungsmaßnahmen nicht, wie in Kap. 3.4.2 geschehen, durch die Gesamtkosten, sondern durch diejenigen Kosten charakterisiert sein, die sich nach Abzug der bautechnischen Leistungen von den Gesamtkosten ergeben. Nachfolgend sind daher die entsprechend angepaßten monetären Kennwerterelationen dargestellt.

Parameter	Einheit	Standort			
		Gießen	Marburg	Weilburg	Wetzlar
CO ₂ -Emissionen pro Tonne aufbereitetem Aushub	kg	43,20			
Kosten pro Tonne aufbereitetem Aushub	DM	–	(776,20)	1.082,17	744,55
CO ₂ -Emissionen pro Kilogramm abgereinigter PAK	kg	(16,40)	(25,50)	6,00	10,50
Kosten pro Kilogramm abgereinigter PAK	DM	–	(458,66)	150,30	272,36
Umweltmedium: Boden					

Tab. 42: Tabellarische Zusammenstellung der sanierungsspezifischen Emissions- und Kostenrelationen. Die eingeklammerten Werte stellen eine zu erwartende Abschätzung dar. Für die Ermittlung der Kostenrelationen wurde der Anteil der bautechnischen Leistungen von den Gesamtkosten abgezogen.

Die ermittelten **CO₂-Emissionen pro Tonne aufbereitetem Bodenaushub** sind für alle Standorte identisch, da für ihre Berechnung jeweils nur der tatsächlich durch die Aufbereitung angefallene Energiebedarf berücksichtigt wurde. Daher kann der Wert von 43,2 kg CO₂/t aufbereitetem Aushub nur als Vergleichsgröße zur Abschätzung der insgesamt zu erwartenden sekundären Auswirkungen herangezogen werden. Dies bedeutet, daß, je weniger Material letztendlich einer Aufbereitung zugeführt wird, desto weniger emissionsbedingte Zusatzbelastungen der Umwelt entstehen.

Durch die Einbeziehung der Energieverbräuche, die durch Aushub und Zwischenlagerung (Bagger) sowie Transport (LKW und Schiff) des aufzubereitenden Materials angefallenen sind, würde sich eine Erhöhung und ggf. auch eine Differenzierung der spezifischen Emissionsrelation (kg CO₂-Emission pro t aufbereitetem Aushub) ergeben.

Es ist jedoch davon auszugehen, daß nur geringfügige standortspezifische Abweichungen der Emissionsrelationen entstehenden würden, da für den Energiebedarf der jeweils eingesetzten Geräte und Transportmittel, wenn überhaupt, nur marginale Unterschiede zu erwarten sind.

Gleichzeitig ist der Relationswert aber auch Ausdruck der Reinigungsleistung des gewählten Aufbereitungsverfahrens, d. h. je höher der absolute Zahlenwert ist, desto mehr Umweltbeeinträchtigungen werden durch die Aufbereitung einer Tonne kontaminierten Materials verursacht. Dies ist für verschiedene Sanierungsverfahren jeweils unterschiedlich zu bewerten, da speziell die im Zuge der untersuchten Sanierungen eingesetzte thermische Aufbereitung von kontaminiertem Material, weitgehend unabhängig vom jeweils vorliegenden Kontaminantenspektrum sowie der jeweiligen Kontaminantenkonzentration ist.

Trotzdem ist die ermittelte Emissionsrelation von 43,2 Kilogramm Kohlendioxid pro aufbereiteter Tonne Material für zukünftige Sanierungsmaßnahmen als niedrigster bzw. günstigster Wert anzusehen.

Die **Kosten pro Tonne aufbereitetem Aushub**, die für die einzelnen Standorte ermittelt wurden, geben vornehmlich den Schwankungsbereich wieder, innerhalb dessen sich die zu erwartenden Kostenrelationen zukünftiger Sanierungsmaßnahmen bewegen können. Gleichzeitig sind sie aber auch ein Maß für die tatsächliche Effektivität, mit der die einzelne Sanierungsstrategie umgesetzt wurde.

Obwohl die Relationen nicht – analog den o. g. Emissionsrelationen – für alle Standorte identisch sind, verhalten sich die Relationen immer proportional zu den erzielten Sanierungsergebnissen. Das bedeutet, je niedriger der ermittelte Zahlenwert ist, desto mehr Aushub konnte gegenüber den durch die Sanierung verursachten Kosten aufbereitet werden. Dabei gilt jedoch logischerweise auch für die Kostenrelation, daß je weniger Material letztendlich einer Aufbereitung zugeführt wird, um so weniger monetäre Belastungen entstehen.

Anhand der Relationsunterschiede von 744,55 DM pro Tonne aufbereitetem Aushub am Standort Wetzlar und 1.082,17 DM pro Tonne am Standort Weilburg zeigt sich daher, an welchem Standort der Kosteneinsatz mit dem höheren Wirkungsgrad stattgefunden hat.

Im Gegensatz zu diesen Unterschieden sind deutliche Parallelen zwischen den tatsächlich angefallenen Kosten pro Tonne aufbereitetem Aushub am Standort Wetzlar (744,55 DM/t) und den für den Standort Marburg prognostizierten Kosten pro Tonne aufbereitetem Aushub (776,20 DM/t) zu erkennen.

Jedoch sollten die Relationen immer vor dem Hintergrund der verschiedenen Sanierungskennwerte sowie den im Rahmen der Kennwertediskussion ermittelten Erkenntnissen, z. B. bezüglich der prozentualen Verteilung der Kosten, gesehen und nicht unabhängig auf zukünftige Sanierungsmaßnahmen übertragen werden.

Die **CO₂-Emissionen pro Kilogramm an abgereinigten Kontaminanten** spiegeln prinzipiell den Erfolg der Strategie wieder, die einer Sanierung zugrundeliegt. Dabei verhält sich die Relation immer umgekehrt zu dem erzielten Ergebnis. Daraus ergibt sich, daß, je niedriger der ermittelte Zahlenwert ist, desto mehr Kontaminanten, gegenüber den durch die Aufbereitung ausgelösten sekundären Umweltbeeinträchtigungen, abgereinigt werden konnten.

Folglich liefert die Relation Hinweise darüber, wie präzise die Kontaminationssituation eingegrenzt und der Sanierungsablauf geplant wurde. Gleichzeitig kann sie aber auch Ausdruck der sowohl horizontal als auch vertikal begrenzten Verteilung von Kontaminanten innerhalb eines Umweltmediums – Boden, Bodenluft oder Grundwasser – sein.

Die **Kosten pro Kilogramm an abgereinigten Kontaminanten** sind, analog den Emissionen pro Kilogramm abgereinigter Kontaminanten, kennzeichnend für die Effizienz der angewendeten Sanierungsstrategie. Da die thermische Aufbereitungsmethode aber weitgehend unabhängig von der Zusammensetzung des Kontaminantenspektrums sowie den jeweiligen Kontaminantenkonzentrationen ist, verhalten sich die Kosten pro Kilogramm abgereinigter Kontaminanten nur bedingt proportional zu den Kosten, die pro Tonne aufbereitetem Aushub anfallen.

Somit ist der Erfolg einer solchen Sanierung, zumindest für den Fall einer thermischen Aufbereitung von kontaminierten Boden, weitgehend unabhängig von der im Zuge der Aufbereitung abgereinigten Menge an Kontaminanten.

4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgte erstmals die Erarbeitung von fallspezifischen Kriterien, die sowohl zu einer Bewertung als auch zur ökologischen und ökonomischen Effizienzsteigerung zukünftiger Altlastensanierungen anleiten können. Diese Kriterien wurden am Beispiel der Sanierungen von vier ehemaligen Gaswerkstandorten in Hessen – Gießen, Marburg, Weilburg und Wetzlar – herausgearbeitet.

Dazu wurden alle signifikanten geogenen, toxikologischen, betriebswirtschaftlichen, legislativen sowie folgenutzungsbezogenen Daten, die zur Auswertung zur Verfügung standen, herangezogen.

Diejenigen Parameter, die die Gemeinsamkeiten und Variabilitäten der verschiedenen Sanierungsmaßnahmen bestimmen, wurden in Form von Kenndaten isoliert. Dies schafft die Voraussetzung für eine Einschätzung ihrer Bedeutung für den Standort und für die gesamte Sanierungsmaßnahme.

Um eine integrative Bewertung der Daten zu ermöglichen, wurden sowohl die technischen als auch die monetären Kenndaten der Sanierungen in verschiedenen Kenndatengruppen zusammengefaßt. Die technischen Kenndaten erfuhren eine Untergliederung in aufbereitete Umweltmedien, abgereinigte Kontaminanten, Energieaufwand und angefallene CO₂-Emissionen.

Für die Ermittlungen der kontaminantenbezogenen Relationen wurde aus der Palette der verschiedenen Kontaminantengruppen exemplarisch die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) ausgewählt, da diese an allen Standorten mengenmäßig deutlich dominiert.

Die monetären Kenndaten wurden im Rahmen dieser Arbeit erstmalig in vollem Umfang erfaßt und berücksichtigt. Sie wurden nach den Leistungen für Bautechnik, Sanierungstechnik, Gutachten, Analytik, Entsorgung bzw. Verwertung sowie Eigenleistungen unterteilt. Zudem wurden die Kosten für behördliche Gebühren und sonstige Leistungen separat ausgewiesen.

Im Gegensatz zu diesen Unterschieden sind deutliche Parallelen zwischen den tatsächlich angefallenen Kosten pro Tonne aufbereitetem Aushub am Standort Wetzlar (744,55 DM/t) und den für den Standort Marburg prognostizierten Kosten pro Tonne aufbereitetem Aushub (776,20 DM/t) zu erkennen.

Jedoch sollten die Relationen immer vor dem Hintergrund der verschiedenen Sanierungskennwerte sowie den im Rahmen der Kennwertediskussion ermittelten Erkenntnissen, z. B. bezüglich der prozentualen Verteilung der Kosten, gesehen und nicht unabhängig auf zukünftige Sanierungsmaßnahmen übertragen werden.

Die **CO₂-Emissionen pro Kilogramm an abgereinigten Kontaminanten** spiegeln prinzipiell den Erfolg der Strategie wieder, die einer Sanierung zugrundeliegt. Dabei verhält sich die Relation immer umgekehrt zu dem erzielten Ergebnis. Daraus ergibt sich, daß, je niedriger der ermittelte Zahlenwert ist, desto mehr Kontaminanten, gegenüber den durch die Aufbereitung ausgelösten sekundären Umweltbeeinträchtigungen, abgereinigt werden konnten.

Folglich liefert die Relation Hinweise darüber, wie präzise die Kontaminationssituation eingegrenzt und der Sanierungsablauf geplant wurde. Gleichzeitig kann sie aber auch Ausdruck der sowohl horizontal als auch vertikal begrenzten Verteilung von Kontaminanten innerhalb eines Umweltmediums – Boden, Bodenluft oder Grundwasser – sein.

Die **Kosten pro Kilogramm an abgereinigten Kontaminanten** sind, analog den Emissionen pro Kilogramm abgereinigter Kontaminanten, kennzeichnend für die Effizienz der angewendeten Sanierungsstrategie. Da die thermische Aufbereitungsmethode aber weitgehend unabhängig von der Zusammensetzung des Kontaminantenspektrums sowie den jeweiligen Kontaminantenkonzentrationen ist, verhalten sich die Kosten pro Kilogramm abgereinigter Kontaminanten nur bedingt proportional zu den Kosten, die pro Tonne aufbereitetem Aushub anfallen.

Somit ist der Erfolg einer solchen Sanierung, zumindest für den Fall einer thermischen Aufbereitung von kontaminierten Boden, weitgehend unabhängig von der im Zuge der Aufbereitung abgereinigten Menge an Kontaminanten.

4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgte erstmals die Erarbeitung von fallspezifischen Kriterien, die sowohl zu einer Bewertung als auch zur ökologischen und ökonomischen Effizienzsteigerung zukünftiger Altlastensanierungen anleiten können. Diese Kriterien wurden am Beispiel der Sanierungen von vier ehemaligen Gaswerkstandorten in Hessen – Gießen, Marburg, Weilburg und Wetzlar – herausgearbeitet.

Dazu wurden alle signifikanten geogenen, toxikologischen, betriebswirtschaftlichen, legislativen sowie folgenutzungsbezogenen Daten, die zur Auswertung zur Verfügung standen, herangezogen.

Diejenigen Parameter, die die Gemeinsamkeiten und Variabilitäten der verschiedenen Sanierungsmaßnahmen bestimmen, wurden in Form von Kenndaten isoliert. Dies schafft die Voraussetzung für eine Einschätzung ihrer Bedeutung für den Standort und für die gesamte Sanierungsmaßnahme.

Um eine integrative Bewertung der Daten zu ermöglichen, wurden sowohl die technischen als auch die monetären Kenndaten der Sanierungen in verschiedenen Kenndatengruppen zusammengefaßt. Die technischen Kenndaten erfuhren eine Untergliederung in aufbereitete Umweltmedien, abgereinigte Kontaminanten, Energieaufwand und angefallene CO₂-Emissionen.

Für die Ermittlungen der kontaminantenbezogenen Relationen wurde aus der Palette der verschiedenen Kontaminantengruppen exemplarisch die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) ausgewählt, da diese an allen Standorten mengenmäßig deutlich dominiert.

Die monetären Kenndaten wurden im Rahmen dieser Arbeit erstmalig in vollem Umfang erfaßt und berücksichtigt. Sie wurden nach den Leistungen für Bautechnik, Sanierungstechnik, Gutachten, Analytik,

Entsorgung bzw. Verwertung sowie Eigenleistungen unterteilt. Zudem wurden die Kosten für behördliche Gebühren und sonstige Leistungen separat ausgewiesen.

Anhand der zusammengefaßten Kenndaten erfolgte die Definition spezifischer Kennwerte für unterschiedliche Zeit- bzw. Sanierungsabschnitte. Als Ergebnisse deren Auswertung läßt sich folgendes feststellen:

- Die sanierungstechnischen sowie die Verwertungs- bzw. Entsorgungsleistungen stellen für alle Standorte die wichtigsten Vergleichsgrößen dar: sie verkörpern die vornehmlich kostenverursachenden Faktoren der Sanierungen.
- Die Bereiche der gutachterlichen, der analytischen sowie der Eigenleistungen haben bei allen Standorten annähernd gleichrangige Bedeutung.
- Die bautechnischen Leistungen, die z. B. durch den Abbruch bestehender Gebäude oder die Beseitigung von Teilen der ehemaligen Produktionsanlagen anfallen, dürfen auf keinen Fall in eine komparative Betrachtung einfließen; diese Leistungen fallen nämlich auch dann an, wenn eine Sanierung nicht notwendig ist, der Standort aber einer geänderten Nutzung zugeführt werden soll. Analog gilt das natürlich auch für Emissionen, die im Zuge dieser erbrachten Leistungen angefallen sind.
- Für die Kenndatengruppen „behördlichen Gebühren“ und „sonstigen Leistungen“ sowie für die dazugehörigen Kennwerte ergibt sich keine positive Aufwand/Nutzen-Relation, weil diese Bereiche jeweils deutlich weniger als 0,1% der angefallenen Gesamtkosten betragen.
- Der Anteil, den die sanierungstechnischen sowie die Verwertungs- bzw. Entsorgungsleistungen an den insgesamt angefallenen Sanierungskosten einnehmen, kann mit durchschnittlich ca. 85% bis 90% quantifiziert werden.
- Die Übereinstimmungen der prozentualen Verteilungen der verschiedenen Sanierungsteilbereiche bestätigen prinzipiell die vorgeschlagenen Kenndatengruppen.
- Die ermittelten spezifischen Kennwerte, z. B. die Menge an aufbereitetem Boden, die entstandenen Emissionen sowie die angefallenen Kosten, können zum Vergleich zweier bereits abgeschlossener Sanierungsmaßnahmen untereinander herangezogen werden. Sie können sowohl der Planung, der Bewertung von Strategien als auch der überschlägigen Kostenkalkulation von zukünftigen Sanierungsmaßnahmen dienlich sein. Voraussetzung hierfür ist, daß die Sanierungsfälle in Bezug auf Untergrund- und Kontaminationssituation jeweils möglichst ähnliche Gegebenheiten – so wie die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Standorte – aufweisen.

Die Zusammenstellung der Kennwerte zu spezifischen Kennwerterelationen liefert folgende Ergebnisse:

- Die für die thermische Aufbereitung ermittelte Emissionsrelation von 43,2 kg CO₂/t aufbereitetem Aushub stellt eine prägnante Bewertungsgrundlage für zukünftige Sanierungsmaßnahmen dar. Zugleich ist die Relation Ausdruck der Effizienz bzw. der Umweltfreundlichkeit des gewählten Aufbereitungsverfahrens (vgl. LFU 1997).
- Die ermittelte CO₂-Emission pro Tonne aufbereitetem Aushub zeigt, daß das Sanierungsverfahren der thermischen Bodenaufbereitung weitgehend unabhängig vom Kontaminantenspektrum sowie der Kontaminantenkonzentration am jeweiligen Standort ist.
- Die Kosten pro Tonne aufbereitetem Aushub geben den Schwankungsbereich wieder, innerhalb dessen sich die zu erwartenden Kostenrelationen zukünftiger Sanierungsmaßnahmen bewegen können. Gleichzeitig sind sie aber auch ein Maß für die tatsächliche Effektivität mit der die einzelne Sanierungsstrategie umgesetzt wurde. Anhand der unterschiedlichen Kostenrelationen pro Tonne aufbereitetem Aushub zeigt sich daher, an welchem Standort der Kosteneinsatz mit dem effizientesten Wirkungsgrad stattgefunden hat.
- Die Kosten sowie die CO₂-Emissionen pro Kilogramm an abgereinigten Kontaminanten spiegeln prinzipiell den Erfolg der jeweiligen Strategie wieder, die den untersuchten Sanierungen zugrunde

liegen. Folglich liefert die Relation Hinweise darüber, wie präzise die Untergrund- und Kontaminationssituation eingegrenzt und der Sanierungsablauf geplant wurde.

Aus den Untersuchungen der eigentlichen Steuerungsfaktoren der Sanierungen lassen sich folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Die Teilbereiche der sanierungstechnischen Leistungen sowie der für Verwertung bzw. Entsorgung betragen zusammen durchschnittlich 85% bis 90% der angefallenen Sanierungskosten. Daher können Optimierungen zukünftiger Sanierungsmaßnahmen primär durch Effizienzsteigerungen in diesen Bereichen realisiert werden.
- Erst aus der Ermittlung möglichst genauer Kenntnisse über den Standortuntergrund ergibt sich die Möglichkeit, bestimmte Bereiche nicht mehr zunächst großräumig zu Analysezwecken aus dem ursprünglichen Bodenverband zu entfernen um sie daraufhin ggf. einer wesentlich weniger umweltfreundlichen Weiterbehandlung andienen zu müssen, sondern sie stattdessen von vornherein an Ort und Stelle zu belassen. Dies würde:
 - a) eine Minderung der xenotopen Emissionen durch die nicht anfallende Aufbereitung sowie
 - b) die Einsparung von möglicherweise akut benötigtem Deponieraum und
 - c) eine deutliche Kostenreduktion bewirken.
- Für möglichst genaue Berechnungen der Aushubchargen sind detaillierte Kenntnisse sowohl über den Untergrundaufbau am Standort, die Verteilung sowie die Konzentrationen der Kontaminanten in Abhängigkeit der jeweiligen Untergrundverhältnissen als auch über die Ausbreitungs- und Adsorptionsverhalten (physiko-chemische Eigenschaften) der Einzelstoffe unverzichtbar.
In der bisherigen Sanierungspraxis der untersuchten Standorte ließen sich weder die detaillierte Ermittlung entsprechender Daten noch die konsequente Einbeziehung solcher Aspekte beobachten.

Die hier aufgeführten Ergebnisse zeigen somit, daß es möglich ist, mittels der gezielten Zusammenstellung und integrativen Bewertung bereits eines Bruchteils der im Rahmen einer Sanierung anfallenden Daten, fallspezifische Kriterien zu erarbeiten, die einen Beitrag zur ökologischen und ökonomischen Effizienzsteigerung zukünftiger Altlastensanierungen leisten können.

5. Schriftenverzeichnis

5.1 Literatur

- ASE – ARBEITSKREIS SCHULINFORMATION ENERGIE (1996): Kohlendioxid und Energieversorgung. – Schriftenreihe Lehrerinformationen, 6 S.; Energie-Verlag GmbH, Heidelberg.
- ATM – AFVALLSTOFFEN TERMINALE MOERDIJK (1994): Termische Bodenreinigung. – Schriftenreihe, 6 S.; Moerdijk.
- BERLINER LISTE (1990): Bewertungskriterien für die Beurteilung kontaminierter Standorte in Berlin. – Bek. v. 19.11.1990, Amtsblatt für Berlin **40** (65): 2464-2468, Stand 28.12.1990; Berlin.
- BMWi – BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT (1994): Einschätzung des technischen, wirtschaftlichen und erschließbaren Potentials erneuerbarer Energien zur Energieversorgung in Deutschland. – Dokumentation **361** (Gesprächszirkel 5): 88; Bonn.
- BRONDER, M. (1996): Technischer Umweltschutz – Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure. – Spektrum Akademischer Verlag: 320 S.; Heidelberg, Berlin, Oxford.
- BUWAL – BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (1990): Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung. – Schriftenreihe Umwelt **33**: 118 S.; Bern.
- CRC – HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS (1995/96) – 76. Auflage; CRC Press Inc., Boca Raton, Florida (USA).
- DFG – DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (1996): Mak- und BAT-Werte-Liste 1996. – Mitteilung der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe **32**: 188 S.; Bonn.
- EAM – ENERGIE-AKTIENGESELLSCHAFT MITTELDEUTSCHLAND (1995): Energie und Umwelt. – Materialien für den Unterricht, 33 S.; Hartl & Partner, Kassel.
- ECKERT, P., ROHNS, H. P., LIEBICH, D., BÖCKLE, K. & WERNER, P. (1994): Grundwassersanierung im Bereich eines ehemaligen Gaswerks. – Neue DELIWA-Zeitschrift **8**: 362-366; Jänicke, Hannover.
- ENTSORGUNGS-VwV – HESSISCHE MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE & BUNDESANGELEGENHEITEN (1993): Entsorgung von belasteten Böden (Entsorgungs-VwV, vom 01.02.1993). – Staatsanzeiger für das Land Hessen **5**: 331; Wiesbaden.
- ALTLASTEN-VwV – HESSISCHE MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE & BUNDESANGELEGENHEITEN (1994): Vorläufige Verwaltungsvorschrift für die Feststellung und Sanierung von Altlasten (Altlasten VwV, vom 16.09.1994) – Diskussionsentwurf; Wiesbaden.
- EISENMANN, R. (1991): Untersuchung von Cyanidverbindungen in Gaswerksböden - Vergleich der Methode nach DIN/DEV D13 mit Ionenchromatographie und anderen Verfahren. – Das Gas und Wasserfach, Ausgabe Gas/Erdgas **1**: 15-20; Berlin-München.
- FISCHER & KÖCHLING (1996a): Niederländischer Leitfaden zur Bodenbewertung und Bodensanierung 1988 (Holland-Liste). – Deutsche Übersetzung im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1989), 27 S.; Bonn.
- FISCHER & KÖCHLING (1996b): Richtwerte '80. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden (Kloke-Liste). – Veröffentlicht von A. Kloke 1987, Mitt. VDLUFA, H. 1-3.
- FISCHER & KÖCHLING (1996c): Brandenburger Liste zur Bewertung kontaminierter Standorte (1993). – Gesetz und Verordnungsblatt für das Land Brandenburg.

- FISCHER & KÖCHLING (1996d): Vorläufige Sanierungswerte - LCKW, BTEX, PAK, Benzinkohlenwasserstoffe (Hamburger-Liste). – 12/1992; Hamburgisches Gesetz- und Ordnungsblatt.
- GOETZELMANN, R., KERNDORFF, H., KÜHN, S. & STRUPPE, T. (1996): Zur Bedeutung von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) als Grundwasserkontaminanten. – Vom Wasser **87**: 187-206; Weinheim.
- GORLT, A. / HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT (1993): Erfassung und Sanierung von Standorten ehemaliger Gaswerke in Hessen. – Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz **142**: 276 S.; Wiesbaden.
- GRATHWOHL, P., MERKEL, P., SCHUTH, C. & PYKA, W. (1995): Einfluß der Sorptionskinetik auf das Verhalten organischer Schadstoffe im Untergrund: Transport, Grundwassergefährdung und Sanierung. – Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft **146**: 8-16; Hannover.
- HAFNER, H. (1995): Energiebedarf bei LHKW-Sanierungen mittels Bodenluftabsaugung. – Altlasten-Spektrum **6**: 283-285; ESV, Berlin.
- HEA – HAUPTBERATUNGSSTELLE FÜR ELEKTRIZITÄTSANWENDUNG e. V. (1995): CO₂-Emissionen. – Schriftenreihe; HEA-Referat Energieberatung und Umwelt, 31 S.; UBIA Druck, Köln.
- HINZ, E. & HOPPE, J. (1993): Die neuen vorgeschlagenen C-Prüfwerte der Holland-Liste - Kommentierung aus Sicht der Praxis. – Altlasten-Spektrum **3**: 143-151; ESV, Berlin.
- HMFUEB – HESSISCHE MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE & BUNDESANGELEGENHEITEN (1994): Verwaltungsvorschrift zu § 77 des Hessischen Wassergesetzes für die Sanierung von Grundwasser- und Bodenverunreinigungen im Hinblick auf den Gewässerschutz (Grundwasser-VwV, vom 19.05.1994). – Staatsanzeiger für das Land Hessen **26**: 1590-1607; Wiesbaden.
- HÖLTING, B. (1996): Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. – 441 S., 5. Auflage; Enke-Verlag, Stuttgart.
- IZE – INFORMATIONSZENTRALE DER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT E. V. (1995): CO₂-Belsatung und Klimarisiko - Handlungsstrategien der deutschen Stromversorger. – IZE-Schriftenreihe Strombasiswissen **104**: 8 S.; Bender, Kelkheim.
- KNOBLICH, K., PRADE, K., HAGELGANS, V., RÖHRICH, M. & SANNER, B. (1993): Der Gaswerkstandort Wetzlar: Untersuchung, Bewertung, Sanierung. – Zeitschrift der angewandten Geowissenschaften **12**: 95-112; Essen.
- KÖTTER, L., NIKLAUS, M. & TOENNES, A. (1989): Erfassung möglicher Bodenverunreinigungen auf Altstandorten. – Arbeitshefte Ruhrgebiet **A 039**: 99-120; Essen.
- LFU – LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Erkundung ehemaliger Gaswerkstandorte. – Materialien zur Altlastenbearbeitung **1**: 91 S.; Karlsruhe.
- LFU – LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1997): Umweltbilanz von Altlastensanierungsverfahren. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 120 S.; Karlsruhe.
- LÜHR, H.-P., SCHULZ-TERFLOH, G., BALZEREIT, F. & WEGENER, I. (1995): Stoffgefährlichkeit r0 für die vergleichende Gefährlichkeitsabschätzung von Altstandortverdachtsflächen. – IWS-Schriftenreihe **20**: 239 S.; Berlin.
- MENGEL, K. & FRIEDBERG, K. D. (1991): Toxikologische und ökologische Bewertung von Cyanid-Kontaminationen in Gaswerksböden. – Das Gas und Wasserfach, Ausgabe Gas/Erdgas **1**: 20-23; Berlin-München.
- QUANZ, K.-P. & RÖHR, C. (1992): Ökobilanz der Bodensanierung durch Bodenluftabsaugung. – WLB - Wasser, Luft und Boden **1-2**: 72-74; Krauskopf, Mainz.

- RÜGNER, H., KLEINEIDAM, S. & GRATHWOHL, P. (1997): Sorptionsverhalten organischer Schadstoffe in herteogenem Aquifermaterial am Beispiel des Phenanthrens. – *Grundwasser* **3**: 133-138; Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, New York.
- SCHAAR, H., (1991): Einsatzgrenzen sowie Umweltverträglichkeit von Sanierungsverfahren für Altlasten. – Dissertationsschrift der Universität des Saarlandes, 216 S.; Saarbrücken.
- SCHMITT, R., LANGGUTH, H.-R. & PÜTTMANN, W. (1998): Abbau aromatischer Kohlenwasserstoffe und Metabolitenbildung im Grundwasserleiter eines ehemaligen Gaswerkstandortes. – *Grundwasser* **2**: 78-86; Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, New York.
- SELLEY, R.-C. (1988): *Applied Sedimentology*. – S. 175; Academic Press, London.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (1997): Daten zur Umwelt - Der Zustand der Umwelt in Deutschland, Ausgabe 1997. – Fachgebiet I 4.3 Umweltberichterstattung, Umweltstatistik, 570 S.; Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin.
- ULLMANN, R. (1956): *Encyklopädie der technischen Chemie*. – **10**: 360-476; Urban & Schwarzberg, München-Berlin.
- VCI – VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE E. V. (1989): *Luft*. – Schriftenreihe Chemie und Umwelt, 37 S.; OehmsDruck GmbH, Frankfurt/Main.
- VDEW – VEREINIGUNG DEUTSCHER ELEKTRIZITÄTSWERKE E. V. (1994): *SK: Stromkreis, Strom-Daten. Daten zur Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft und des Energiemarktes*. – Materialsammlung, 53 S.; VDEW, Frankfurt am Main.
- VOGT, A. W. & WINDISCH, J. (1994): *Ökobilanzen für umwelttechnische Prozesse*. – *Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen* **78**: 119; Heidelberg.
- VOGT, A. W., WINDISCH, J. & ZANKL, H. (1995): *Kosten-Nutzen-Analyse einer Grundwasser- und Bodenluftsanierung*. – unveröff. Gutachten, 53 S.; Marburg.
- WIEDLICH, W. – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE (1995): *Klima und Mensch*. – Referat für Öffentlichkeitsarbeit, 30 S.; Siebengebirgs-Druck, Bad Honnef.
- WINNACKER, K. & KÜCHLER, L. (1959): *Chemische Technologie*. – **3**: 81-111; Carl Hanser Verlag, München.
- WISOTZKY, F. & ECKERT, P. (1997): Sulfat-dominiertes BTEX-Abbau im Grundwasser eines ehemaligen Gaswerksstandortes. – *Grundwasser* **1**: 11-20; Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, New York.
- WYCISK, P., VOGT, A. W. & WINDISCH, J. (1995): Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) als multidisziplinärer Ansatz zur Festlegung von Umweltqualitätszielen. – in DÖRRHÖFER, G., THEIN, J. & WIGGERING, H. [Hrsg.]: *Umweltqualitätsziele - natürliche Variabilität - Grenzwerte. Umweltgeologie Heute* **5**: 43-50; Ernst & Sohn, Berlin.

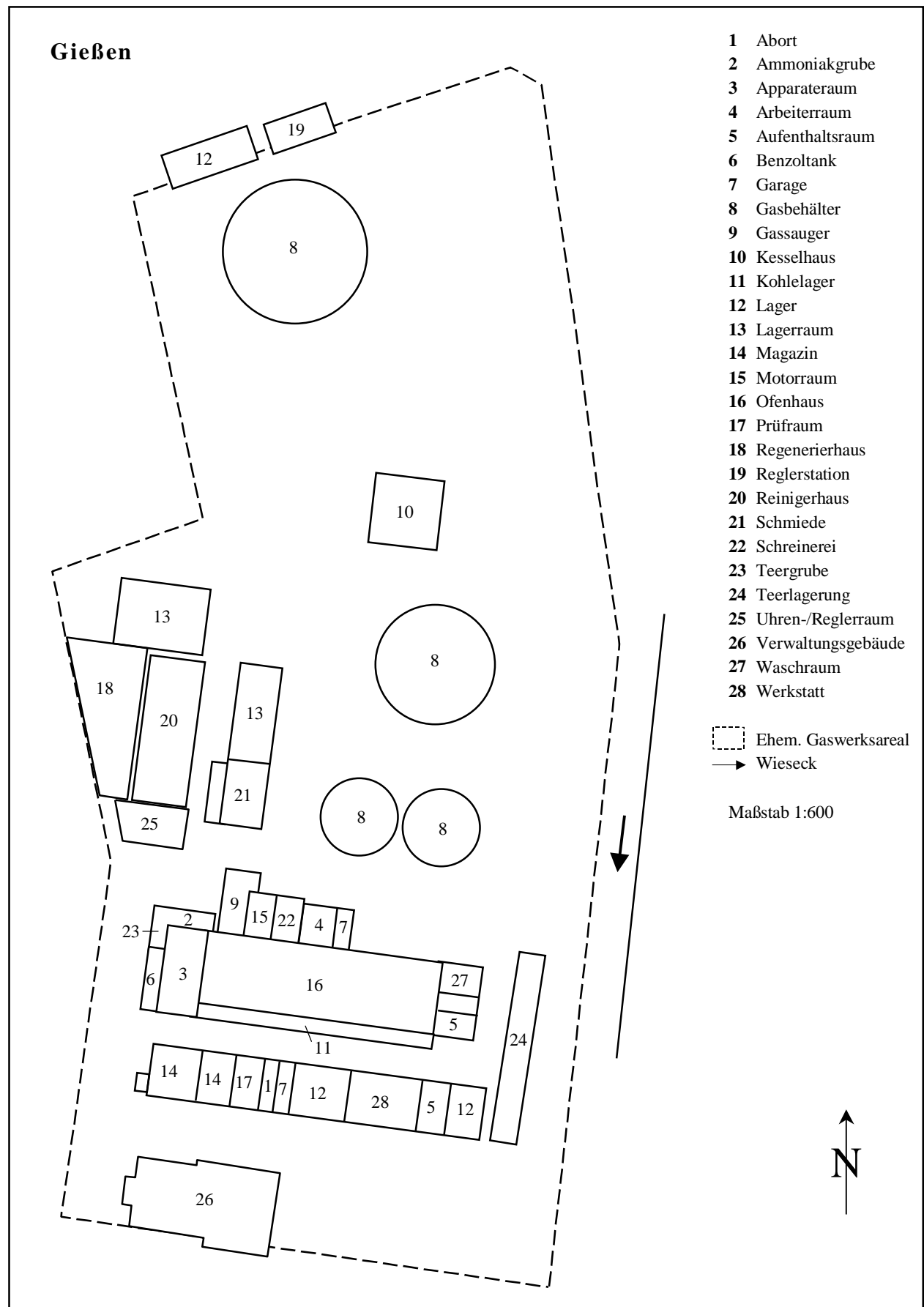
5.2 Sonstige Unterlagen

- GEONORM GMBH & PROF. DR. KNOBLICH U. PARTNER GMBH (1996): Gaswerk Gießen - Erweiterte orientierende Untersuchungen. – unveröffentlicht; Gießen.
- IFG – DR. JOCHEN ZIRFAS INSTITUT FÜR GEOTECHNIK GMBH (1993): Umwelttechnische Ergebnisdokumentation zum Projekt: Ergänzende umwelttechnische Untersuchungen - Ehemaliges Gaswerk Weilburg. – unveröffentlicht; Limburg.
- IFG – DR. JOCHEN ZIRFAS INSTITUT FÜR GEOTECHNIK GMBH & UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1994): Sanierungsplan ehemaliger Gaswerkstandort Weilburg. – unveröffentlicht; Limburg.
- IFG – DR. JOCHEN ZIRFAS INSTITUT FÜR GEOTECHNIK GMBH (1994a): Geotechnisches Gutachten zum Projekt: Bausubstanzbewertung ehemaliges Gaswerk Weilburg. – unveröffentlicht; Limburg.
- IFG – DR. JOCHEN ZIRFAS INSTITUT FÜR GEOTECHNIK GMBH (1994b): Geotechnisches Gutachten zum Projekt: Bodensanierung Ehemaliges Gaswerk Ahäuser Weg, Weilburg - 1. Bericht. – unveröffentlicht; Limburg.
- IFG – DR. JOCHEN ZIRFAS INSTITUT FÜR GEOTECHNIK GMBH (1995a): Geotechnische Fachbauleitung zum Projekt: Sanierung ehemaliges Gaswerk Weilburg - 3. Bericht. – unveröffentlicht; Limburg.
- IFG – DR. JOCHEN ZIRFAS INSTITUT FÜR GEOTECHNIK GMBH (1995b): Geotechnische Fachbauleitung zum Projekt: Sanierung ehemaliges Gaswerk Weilburg - 4. Bericht. – unveröffentlicht; Limburg.
- IFG – DR. JOCHEN ZIRFAS INSTITUT FÜR GEOTECHNIK GMBH (1995c): Geotechnische Fachbauleitung zum Projekt: Sanierung ehemaliges Gaswerk Weilburg - 5. Bericht. – unveröffentlicht; Limburg.
- IFG – DR. JOCHEN ZIRFAS INSTITUT FÜR GEOTECHNIK GMBH (1995d): Geotechnischer Bericht zur Fachbauleitung zum Projekt: Sanierung ehemaliges Gaswerk Weilburg (Bergseitige Böschungssicherung) - 6. Bericht. – unveröffentlicht; Limburg.
- IFG – DR. JOCHEN ZIRFAS INSTITUT FÜR GEOTECHNIK GMBH (1995e): Geotechnische Fachbauleitung zum Projekt: Sanierung ehemaliges Gaswerk Weilburg - 7. Bericht. – unveröffentlicht; Limburg.
- IFG – DR. JOCHEN ZIRFAS INSTITUT FÜR GEOTECHNIK GMBH (1995f): Geotechnische Fachbauleitung zum Projekt: Sanierung ehemaliges Gaswerk Weilburg - 8. Bericht. – unveröffentlicht; Limburg.
- IGU – INSTITUT FÜR INDUSTRIELLEN UND GEOTECHNISCHEN UMWELTSCHUTZ DR. BAUER GMBH (1995): Sanierungsplan - Standort des ehemaligen Gaswerks Afföllerwiesen in Marburg/Lahn. – unveröffentlicht; Fernwald.
- KNOBLICH, K., KLEIN, H.-H. & WELLER, N. (1989): Orientierende Untersuchungen am Standort des ehemaligen Gaswerks der Stadt Gießen. – unveröffentlicht, Institut für angewandte Geowissenschaften der Justus-Liebig-Universität; Gießen.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1992a): Analysenprotokolle der Wasserproben vom 01.10.1992 bis 16.10.1992 - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1992b): Analysenprotokolle der Wasserproben vom 17.10.1992 bis 31.10.1992 - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. – unveröffentlicht; Wetzlar.

- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1992c): Analysenprotokolle der Wasserproben vom 01.11.1992 bis 12.11.1992 - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1992d): Analysenprotokolle der Wasserproben vom 13.11.1992 bis 02.12.1992 - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1992e): Kurzbericht IX - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1992f): Kurzbericht X - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar, 2. Teil. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1992g): Kurzbericht XI - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1992h): Kurzbericht XII - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1993a): Kurzbericht XIII - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1993b): Kurzbericht XIV - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1993c): Kurzbericht XV - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1993d): Kurzbericht XVI - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1993e): Kurzbericht XVIII - Sanierung Gaswerkstandort Wetzlar. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1995a): Sanierungsplan ehemaliger Gaswerkstandort Marburg-Afföllerwiesen. - unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1995b): 2. Zwischenbericht zu den Ergebnissen der Arbietsbereichs-Überwachung - Sanierung ehemaliges Gaswerk Weilburg. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1996a): Zwischenbericht zur Entwicklung der örtlichen Grundwasserbeschaffenheit Februar bis Jui 1996 - Sanierung ehemaliges Gaswerk Weilburg. – unveröffentlicht; Wetzlar.
- UEG – INSTITUT FÜR UMWELTANALYTIK UND GEOTECHNIK GMBH (1996b): Anlagenband zum Abschlußbericht - Sanierung ehemaliges Gaswerks Weilburg. – unveröffentlicht; Wetzlar.

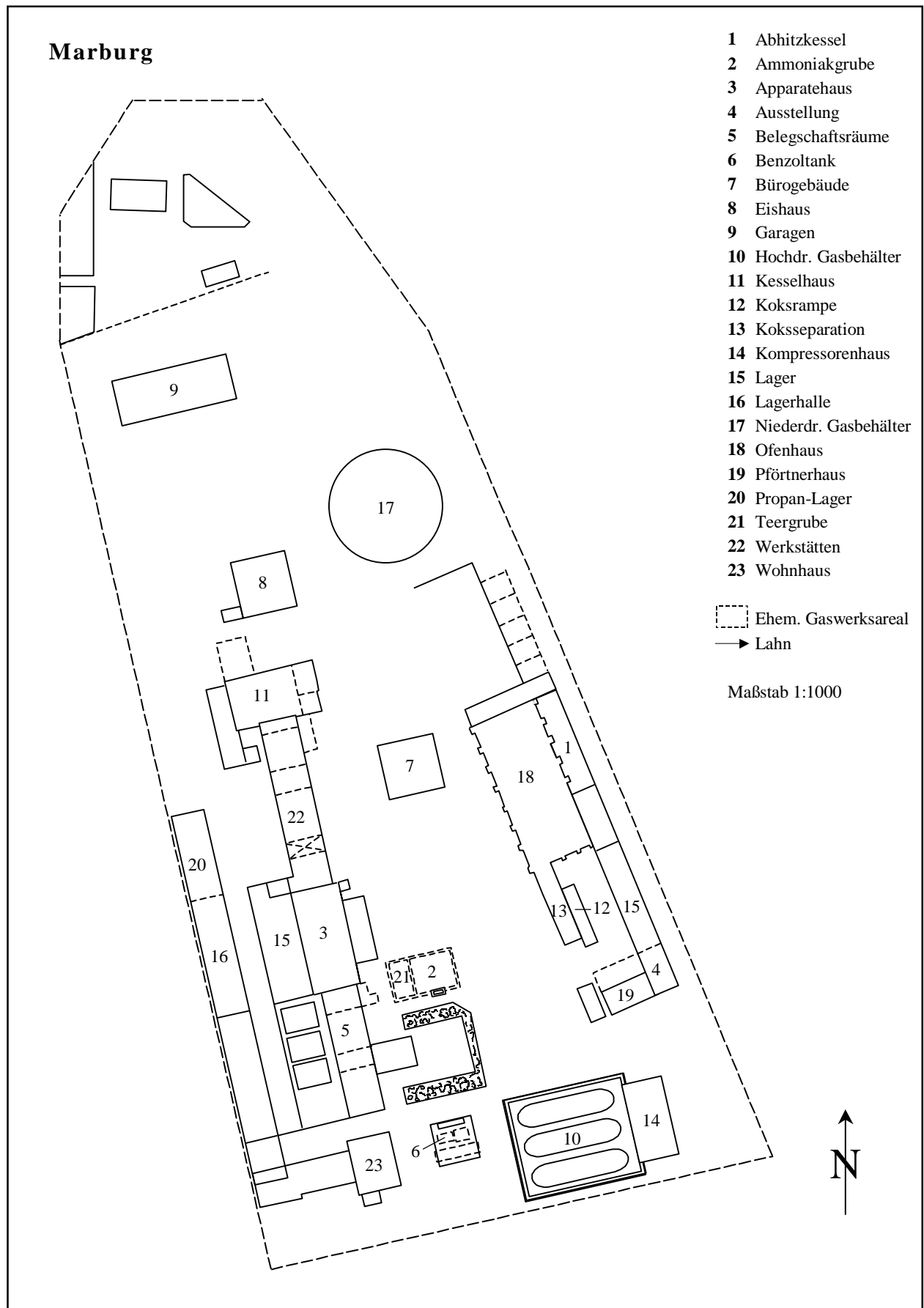
Anhang

Anhang I – Pläne der Gaswerkstandorte



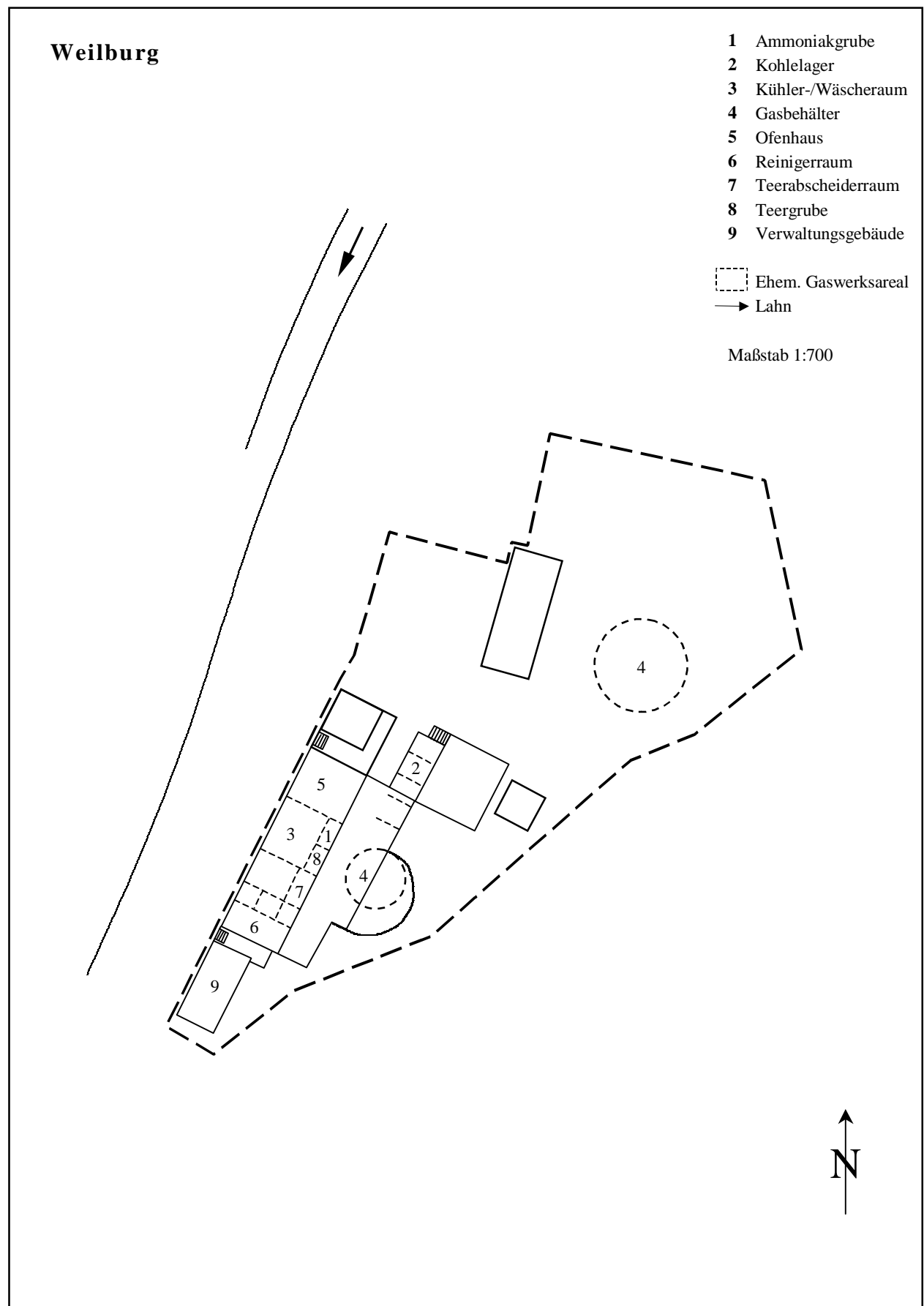
Umgezeichnet nach GORLT (1992)

Fortsetzung Anhang I



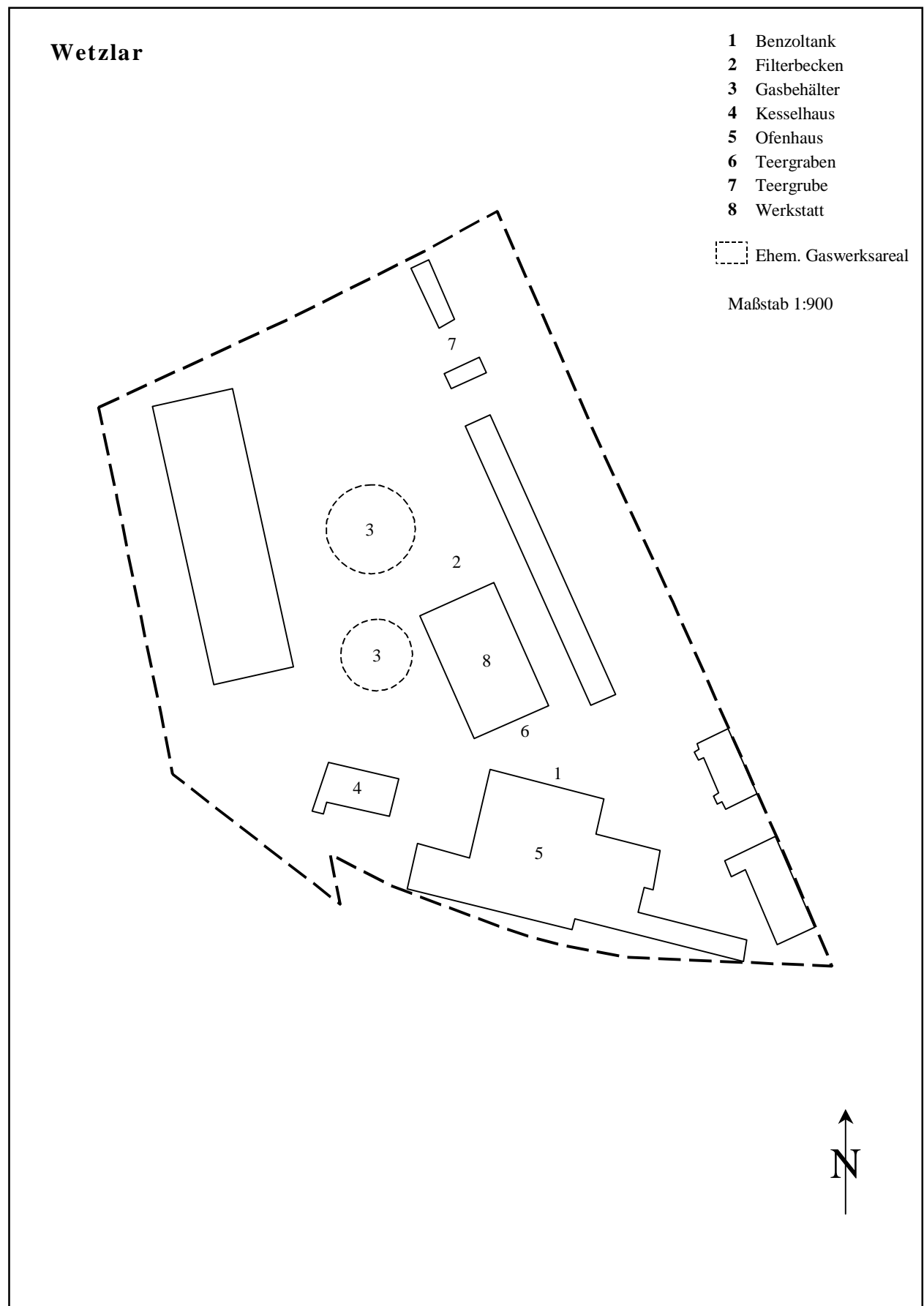
Umgezeichnet nach GORLT (1992)

Fortsetzung Anhang I



Umgezeichnet nach GORLT (1992)

Fortsetzung Anhang I



Umgezeichnet nach GORLT (1992)

Anhang II – Gasproduktion

Die nachfolgende Beschreibung der Gasproduktion erfolgt u. a. in Anlehnung an GORLT (1992).

In Gaswerken wurde aus Kohle das sog. Leucht- bzw. Stadtgas gewonnen. Das brennbare Gas diente hauptsächlich zur Beleuchtung von Straßen und Häusern, im Verlauf dieses Jahrhunderts wurde es dann auch verstärkt zum Kochen und Heizen verwendet. Kenntnisse über brennbare leuchtende Gase (Leuchtgas), die bei der Erhitzung von Kohle unter Luftabschluß entstehen, existieren seit dem 17. Jahrhundert. Seit den fünfziger Jahren wurde die Produktion von Stadtgas, ausgelöst durch die verstärkte Förderung von Erdgas, immer unrentabler. Alleine im Zeitraum von 1950 bis 1970 wurden in der Bundesrepublik ca. 187 Gaswerke stillgelegt. Die Erzeugung von Stadtgas basierte auf der Erhitzung von Kohle unter Luftabschluß. Kohle enthält, neben dem Hauptbestandteil Kohlenstoff, auch Sauerstoff, Wasserstoff und geringe Mengen von Stickstoff, Schwefel und Arsen.

Es kam hauptsächlich Steinkohle zu Einsatz, untergeordnet wurde aber auch Braunkohle für die Gasproduktion eingesetzt. Wichtigste Voraussetzung an die verwendete Kohle waren 20-30% flüchtiger Anteile. Um diese Anforderung zu erfüllen, wurden auch verschiedene Kohlesorten gemischt. Die Kohlen wurden auf dem Gaswerksgelände zwischengelagert, gemischt und mittels einer Brecheranlage auf eine Korngröße von ca. 20 mm heruntergebrochen. Von der Brecheranlage gelangte die Kohle durch Laufbänder und Aufzüge zu den Brennöfen.

In Retorten- oder Kammeröfen mit waagerechten, schrägen oder senkrechten Entgasungskammern wurden die Steinkohlen unter Luftabschluß 6 bis 24 Stunden auf 1.000-1.300°C erhitzt. Während dieses Vorgangs wurden der Kohle, durch eine Reihe von chemischen Reaktionen, unter Zersetzung der organischen Substanz, die flüchtigen Bestandteile ausgetrieben (WINNACKER & LEUCHNER 1971). Als Reststoff entstand dabei der sog. Gaskoks, der die Ofenkammer in noch glühendem Zustand verließ. Der Koksbrei wurde mit Wasser abgelöscht und durch ein Brechwerk auf die gewünschte Größe gebracht. Da der Gaskoks einen geringeren Heizwert als der Zechen- oder Hüttenkoks aufweist, diente er vorwiegend als Brennstoff für die Befuerung von Heizkesseln im häuslichen und gewerblichen Bereich.

Das bei diesem Vorgang der trockenen Destillation gewonnene Gasgemisch wurde, da es noch verschiedene verunreinigend Gase und Dämpfe enthielt, als "Rohgas" bezeichnet. Das Rohgas gelangte mit einer Temperatur von 750 bis 850°C aus den Öfen in eine Gaskühlvorlage. Dort wurde das Gasgemisch mit Kühlkondensaten, häufig nur Wasser, berieselt und auf ca. 100°C abgekühlt. Dabei wurde dem Rohgas bereits 60 bis 70% der enthaltenen Teerbestandteile entzogen.

Stoff	Vol.-%
Kohlendioxid	1,5 bis 2,5
Kohlenmonoxid	4,6 bis 5,8
Wasserstoff	60 bis 64
Methan	25 bis 27
CnHm	2,0 bis 4,0
Schwefelwasserstoff	0,3 bis 3,0
Schwefelkohlenstoff	0,016
Thiopen	0,010
Mercaptane	0,003
Ammoniak	1,1
Blausäure	0,1 bis 0,25
Pyridinbasen	0,04
Stickstoffmonoxid	0,0001

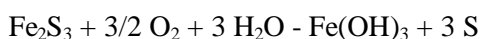
Vorwiegende Bestandteile bzw. Verunreinigungen und deren Mengen, die in Rohgas enthalten sein können. Aus ULLMANN (1953).

Hinter der Vorkühlung war ein sog. Gassauger installiert, der das Gas von den Öfen ansaugte und für dessen kontinuierlichen Weitertransport zu den verschiedenen Reinigungsstufen bis hin zum Gasspeicher sorgte. An den Sauger schloß sich eine weitere Kühleinrichtung, ein sog. Gaskühler an; in diesem wurde das Gas bis auf eine Temperatur von ca. 20°C abgekühlt. Bis zu diesem Punkt hatten alle Verfahrensschritte nur wenig Einfluß auf die Zusammensetzung des Rohgases genommen. Das Gas enthielt, neben anderen Verunreinigungen, immer noch feinste Bestandteile an Teer. Diese wurden in einem Teerscheider mittels mechanischer Stoßverdichtung abgeschieden. Dazu wurde der Gasstrom in einer sich drehenden Trommel oder einem walzenförmigen Gefäß wiederholt abrupten Richtungswechseln unterworfen. Um dem Gas auch noch die restlichen Verunreinigungen zu entziehen, war der Einsatz verschiedener Wasch- bzw. Absorberverfahren notwendig. Die Naphthalindämpfe wurden dem Gas durch eine Wäsche z. B. mit Anthracenöl, dem auch ein geringer Anteil an Benzol beigemischt sein konnte, entzogen. Ammoniak wurde entweder mittels Wasser (indirektes Verfahren) oder mittels Schwefelsäure (halbdirektes Verfahren) ausgewaschen. Dabei wurde dem Gas auch schon ein Teil des enthaltenen Cyanwasserstoffs entzogen. Der restliche Cyanwasserstoff wurde dann z. B. mittels einer Fe(II)SO₄-Lösung ausgewaschen.

Der im Rohgas enthaltene Anteil an Schwefelwasserstoff wurde meistens in einem Trockenreinigungsverfahren mit fester Reinigungssubstanz, sog. Gasreinigungsmassen, entfernt. Die verwendeten Reinigermassen mußten dazu Eisen(III)hydroxid als reaktiven Bestandteil enthalten. Häufige Anwendung fanden daher auch Raseneisenerze. Der chemische Prozeß der trockenen Gasreinigung läßt sich vereinfacht mittels folgender Reaktionen darstellen:



U. a. fallen bei diesem Reinigungsprozeß auch 2-15 % an sog. "Berliner Blau" an. Der intensiv blaue Farbstoff wurde vornehmlich in Anstrichfarben und im Tapetendruck verwendet. Chemisch ist Berliner Blau eine Mischung aus verschiedenen komplexen Eisen-Cyan-Verbindungen wie z. B. Eisen(III)-hexacyanferrat(II); $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 6 \text{H}_2\text{O}$. Die durch den Reinigungsprozeß verbrauchten Reinigermassen konnten durch einfaches Umschäufeln direkt auf dem Gaswerkgelände weitgehend wieder regeneriert werden. Dabei setzte sich das entstandene Eisensulfid mit Luftsauerstoff wieder zu Eisenhydroxid und elementarem Schwefel um:



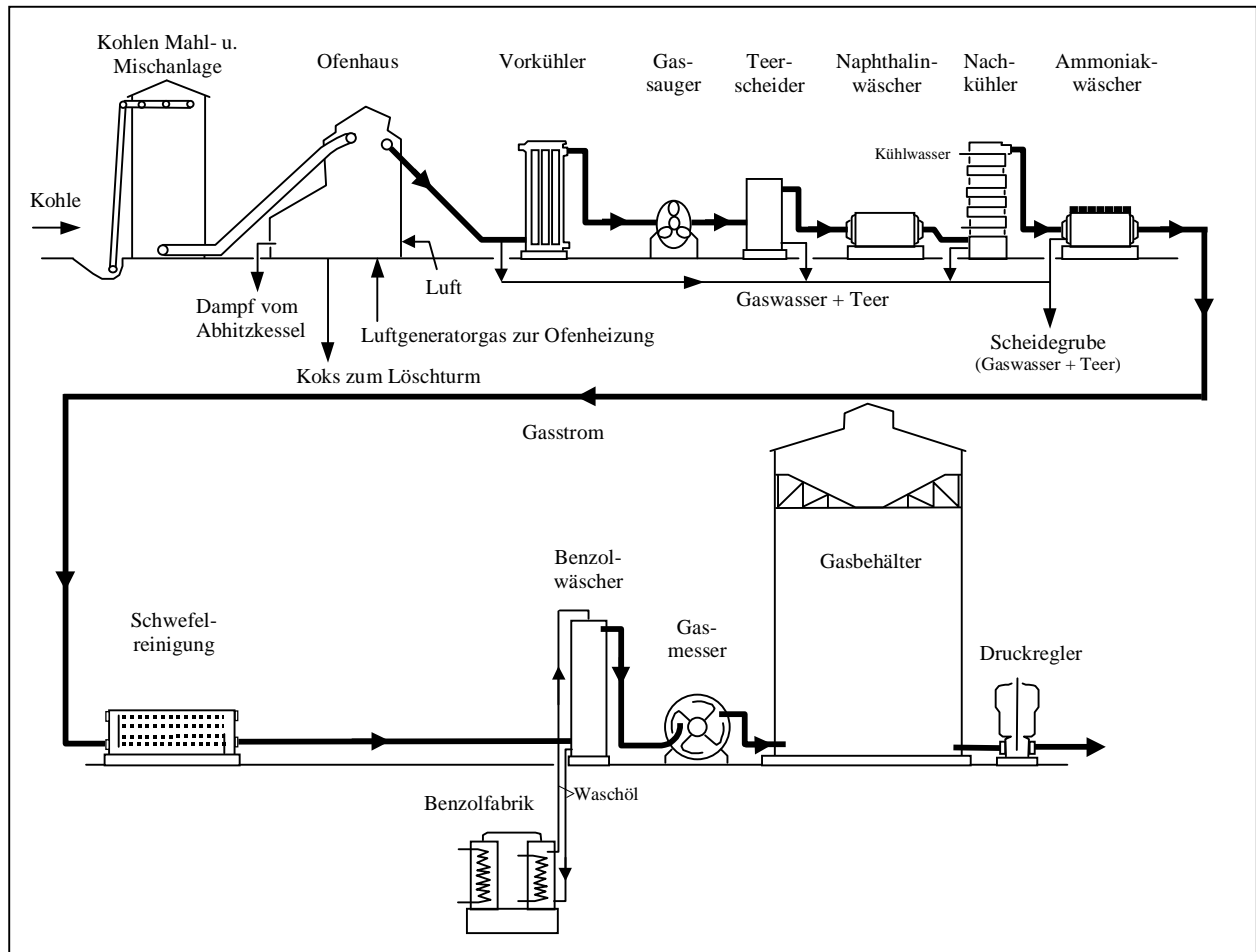
Neben dem o. g. trockenen Oxidationsverfahren zur Entfernung des im Rohgas enthaltenen Anteils an Schwefelwasserstoff, kam auch ein nasses Verfahren zur Anwendung. Dabei konnte durch Katalysatoren die Regeneration wesentlich verbessert werden, z. B. konnte beim Thyloxverfahren durch Arsenverbindungen eine Entschwefelung bis auf Spuren von Schwefelwasserstoff erreicht werden. Die verwendete Arsenatlösung wurde durch Belüften dann ebenfalls wieder regeneriert.

Im Anschluß an die Schwefelreinigung wurde das im Rohgas enthaltene Benzol mit Hilfe von Waschölen (Teeröl) oder mittels Aktivkohle (Benzorbonverfahren) aus dem Gas entfernt. Bevor das Gas zur Zwischenlagerung in die Gasspeicher gelangte, wurde es ein letztes Mal getrocknet. Die Trocknung erfolgte beim Durchströmen von Kalziumchlorid welches dem Gasstrom restliches Wasser entzog. Prinzipiell kamen im Lauf der Zeit zur Zwischenlagerung des gereinigten und getrockneten Stadtgases sowohl Nieder- als auch Hochdruckverfahren zum Einsatz. Bei dem Niederdruckverfahren konnte, bei weitgehend gleichbleibendem Gasdruck, das Speichervolumen verändert werden. Bei dem Hochdruckverfahren stand dagegen ein fixes Speichervolumen zur Verfügung; die Kapazität wurde durch Komprimierung der Gasmenge geregelt. Dieses Verfahren kam aber erst gegen Ende der Gasproduktion zur Anwendung. Im Niederdruckverfahren wurden zwei unterschiedliche Typen von Gasspeichern oder auch Gasometern verwendet. Der eine Typ bestand aus großen, teleskopartig ineinandergreifenden Stahlblechringen, die in einem Führungsgestell auf und ab gleiten konnten. Der äußerste bzw. unterste Ring der Konstruktion war gegen Gasaustritt in ein mit Wasser gefülltes Becken eingelassen. Diese Speichermethode war allerdings nicht frostsicher. Deshalb ging man dazu über, sog. Scheibengasbehälter für die Gasspeicherung zu verwenden. In diesen ebenfalls zylindrischen Stahlblechbehältern glitt, durch den wechselnden Gasdruck, ein flacher Deckel auf und ab. Die Abdichtung der Sperrscheibe gegen den starren Führungsbehälter wurde mittels einer Teer- oder Öldichtung erreicht. Der markanteste Unterschied zwischen den beiden Varianten war, neben der Frostsicherheit, das rein optisch scheinbar feste Speichervolumen der Scheibengasbehälter.

Mit Hilfe dieser variablen Speichertechnik konnten die Gaswerkstanlagen die Schwankungen zwischen Produktion und Abnahme auffangen. Die Abgabe des Stadtgases an das öffentliche Versorgungsnetz erfolgt über einen Druckregler, der den Gasdruck dem im Netz herrschenden Druck von ca. 80 mm Wassersäule anpaßte.

Rohgasausbeute	Koks	Teer	Ammoniak	Benzol	Schwefel
406 m ³ /t	766 kg/t	34,6 kg/t	0,90 kg/t	7,6 kg/t	10 kg/t

Die Ermittlung der Rohgasausbeute erfolgte bei einer Gastemperatur von 15°C und einem Druck von 760 mm Hg-Säule. Der Schwefel wurde als H₂S berechnet. Aus GORLT (1992).



Schematische Darstellung der wichtigsten Produktionsanlagen eines Gaswerks. Umgezeichnet nach ULLMANN (1953).

Vom HlfU und dem LfU Baden-Württemberg werden den folgenden Neben- bzw. Abfallprodukten, die bei der Produktion von Leucht- bzw. Stadtgas anfallen, eine besondere Bedeutung beigemessen:

- Gaswerkteer (Steinkohlenteer)
- Verbrauchte Gasreinigermasse (Reiniger-, Lux- oder Lautamasse)
- Ammoniakwasser
- Kondensate und Waschflüssigkeiten

In Gaswerkteer werden u. a. die drei folgenden Stoffgruppen und deren Vertreter als besonders relevante Schadstoffe hervorgehoben:

- a) Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK):
- Naphthalin
 - Phenanthren,
 - Anthracen,

- Fluoranthen,
- Benzo(b)fluoranthen,
- Benzo(k)fluoranthen,
- Benzo(a)pyren,
- Indeno(1,2,3-cd)pyren,
- Benzo(ghi)perylene

b) Phenole und heterozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

c) Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe

- Benzol,
- Toluol,
- Xylol

Das LfU gibt die folgende mögliche Zusammensetzung von Gaswerkteer an:

- Asphalt 38%
- unlösliche aromatische Kohlenwasserstoffe 25%
- schwere Öle 20%
- Naphthalin 6%
- Anthracen, Phenanthren 2%
- Benzol und Homologen 2%
- Phenol und Homologen 2%
- Rest (Wasser, Gase, Spurenstoffe) 5%

In verbrauchter Gasreinigermasse sind u. a. folgende Stoffgruppen und deren Vertreter als relevante Schadstoffe hervorzuheben:

- Schwefel 25-65%
- Eisenoxid/-hydroxid 12-65%
- komplexes Eisencyanid 2-15%
- Stickstoff 4-5%
- Ammoniumverbindungen 1%
- Spurenstoffe 2%

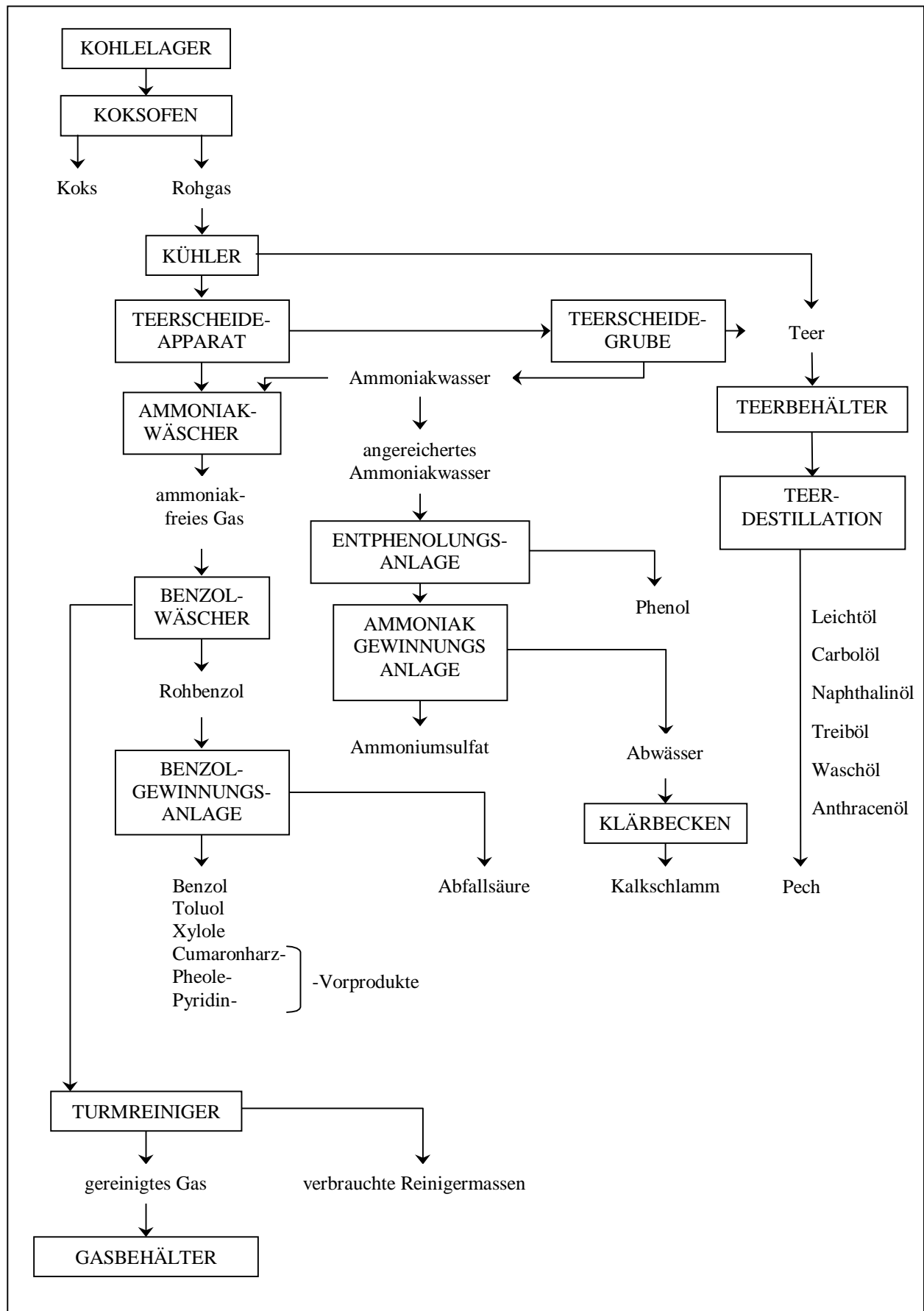
Die Zusammensetzung von Ammoniakwasser kann im Einzelfall jeweils erheblich schwanken, deshalb ist nachfolgend auch nur eine der möglichen Zusammensetzungen beschrieben:

- Ammoniak 15.000 mg/l
- Phenole 2.000 mg/l
- Sulfid 1.500 mg/l
- Thiocyanat 100 mg/l
- Cyanid 5 mg/l

Die im Zuge der Gasproduktion anfallenden Kondensate bestehen im wesentlichen aus Teer und Ammoniakwasser. Über die Zusammensetzung der Waschflüssigkeiten bestehen nur wenige allgemeingültige Angaben. Die vorherrschenden Kontaminanten werden aber zu der Gruppe der zyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe gerechnet (GORLT 1992).

Mögliche Verfahrensweisen mit den Nebenprodukten:

- Weiterbehandlung oder Aufbereitung auf dem Gaswerksgelände
- Abgabe an Verwertungs- oder Aufbereitungsanlagen
- Einleitung in Oberflächengewässer oder Versickerung
- Ablagerung zusammen mit häuslichem oder gewerblichem Müll
- Separate Ablagerung, teilweise um Gruben und Bodenunebenheiten auszugleichen
- Belassen am Standort, vor allem nach Stilllegung der Gaswerke
- Abgabe an Kleingartenbesitzer und Landwirte



Ablaufschema und Verfahrenswege der Gasproduktion. Umgezeichnet nach KÖTTER, L., NIKLAUS, M. & TOENNES, A. (1989)

Anhang III – Produktionsanlagen und potentielle Kontaminationen

Kontaminanten		Gaswerk												Teerverarbeitung					
Stoffgruppe	Einzelstoff	Vorlagen	Kühler/Wäscher/ Teerabscheider	Teergruben/-basins	Ammoniakfabrik	Entphenolungsanlage	Benzolwäscher	Naphtalinwäscher	Regenerieranlage	Benzolgewinnung	Trockenreinigung	Regeneration	Gasbehälter	Reglerstation	Lagertanks/Entwäss.	Destillationsblasen	Pechgruben/ -verlad.	Spezialpecherzeugung	Teerpechlackerzeug.
Aromate (BETX)	Benzol	○	○		+		+		○	+					+				+
	Ethylbenzol	○	○		+		+		○	+					+				+
	Toluol	○	○		+		+		○	+					+				+
	Xylol	○	○		+		+		○	+					+				+
Phenole	Kresole	--	+	+	+	+	○			+					+	+			
	Phenole	--	+	+	+	+	○			+					+	+			
	Xylenole	--	+	+	+	+	○			+					+	+			
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Acenaphten	+	+	+			+	+	+	--	--	--	--		+	+	+	+	+
	Anthracen	+	+	+			+	+	+	--	--	--	--		+	+	+	+	+
	Carbazol	+	+	+			+	+	+	--	--	--	--		+	+	+	+	+
	Chrysen	+	+	+			+	+	+	--	--	--	--		+	+	+	+	+
	Cumaron	--	○	○			○		+	+					○				+
	Fluoranthen	+	+	+			+	+	+	--	--	--	--		+	+	+	+	+
	Fluoren	+	+	+			+	+	+	--	--	--	--		+	+	+	+	+
	Inden	--	○	○			○		+	+					○				+
	Naphtalin	+	+	+			+	+	+	--	--	--	--		+	+	+	+	+
	Phenanthren	+	+	+			+	+	+	--	--	--	--		+	+	+	+	+
	Pyridin	--	○	○			○		○	+					○				
Cyanver- bindungen	Cyanide		+	+	○	--	--	--			+	+	--		+				
	Rhodanide		+	+	○	--	--	--			+	+	--		+				
Schwer- metalle	Arsen		○	○	--	--									--	--			
	Blei	--	--		--	--	--	--	--	--			--		--	--			
	Chrom												--						
	Quecksilber													--		--			
	Zink												--						
Säuren	Natronlauge					+				+	+								
	Schwefelsäure				+					+	+					+			
Lösungs- mittel	Butanol																		+
	Isopropanol																		+
	Tetrachlormethan																		+
sonstige	Ammonium		+	+	+	○	--	--			+	+			+				
	Chloride		+	+	○	○	--	--			+	+			+				
	Sulfate		+	+	+	○	--	--			+	+			+				
	Sulfide		+	+	○	○	--	--			+	+			+				
Kontaminationspotential:		+ hoch					○ wahrscheinlich					-- niedrig							

Mögliche Kontaminantengruppen sowie deren Einzelstoffe und deren Lokalisierung auf ehemaligen Gaswerkstandorten sowie angegliederten Produktionsbetrieben. Verändert nach KÖTTER, NIKLAUS & TOENNES (1989).

Anhang IV – Chemisch-physikalische Eigenschaften

Bei der Gasproduktion wurden Kontaminationen sowohl durch Lagerung und Einsatz von Rohstoffen (Kohle, Öl, etc.) als auch durch die im Produktionsablauf angefallenen Zwischen- bzw. Endprodukte (Teer, Ammoniak, Pech, etc.) induziert. Neben den direkten Stoffeinträgen in die Umwelt, die im Zuge der laufenden Produktion anfielen, finden sich auf Gaswerksgeländen fast immer Produktionsrückstände, z. B. Teer in verschiedenen Aggregatzuständen sowie Ammoniakwasser oder verbrauchte Luxmasse. Wenn diese Stoffe keiner direkten Weiterverarbeitung angedient werden konnten, wurden sie teilweise direkt auf dem Betriebsgelände abgelagert bzw. nach Stilllegung der Gaswerke einfach in den verschiedenen Anlagenteilen (Gruben, Rohrleitungen etc.) belassen. Aus diesen beiden Quellen kommt es im Laufe der Zeit zu Kontaminationen durch den Austrag diverser Inhaltsstoffe der verschiedenen Zwischen- bzw. Endprodukte.

Nachfolgend sind die chemisch-physikalischen Eigenschaften einiger ausgewählter Substanzen aufgeführt, die in Folge der Leucht- bzw. Stadtgasproduktion als Kontaminanten in Erscheinung treten können:

Einzelstoff	Summenformel	Molekülmasse g/mol	Spez. Gewicht g/cm ³	Löslichkeit in Wasser	Siedepunkt °C
Ammonium	NH ₄ ⁺	18,04	unterschiedlich	sehr gut löslich	unterschiedlich
Cyanide	CN ⁻	26,02	unterschiedlich	sehr gut - unlöslich	unterschiedlich
Mineralöl	C _n H _m Gemisch	unterschiedlich	unterschiedlich	schwer löslich	unterschiedlich
Phenol	C ₆ H ₅ OH	94,11	1,05	löslich	181
Benzol	C ₆ H ₆	78,11	0,88	schwer löslich	80
Toluol	C ₇ H ₈	92,14	0,87	praktisch unlöslich	110
Xylole	C ₈ H ₁₀	106,17	0,86 - 0,88	praktisch unlöslich	138 - 144
Naphthalin	C ₁₀ H ₈	128,19	1,03	praktisch unlöslich	218
2-Methylnaphtalin	C ₁₁ H ₁₀	142,20	1,01	praktisch unlöslich	241
1-Methylnaphtalin	C ₁₁ H ₁₀	142,20	1,02	praktisch unlöslich	244
Acenaphthylen	C ₁₂ H ₈	152,20	0,90	praktisch unlöslich	280
Acenaphthen	C ₁₂ H ₁₀	154,21	1,02	praktisch unlöslich	279
1,3-Dimethylnaphtalin	C ₁₂ H ₁₂	156,23	1,01	praktisch unlöslich	263
1,4-Dimethylnaphtalin	C ₁₂ H ₁₂	156,23	1,02	praktisch unlöslich	268

Fortsetzung Anhang IV

Einzelstoff	Summenformel	Molekülmasse g/mol	Spez. Gewicht g/cm ³	Löslichkeit in Wasser	Siedepunkt °C
1,6-Dimethylnaphtalin	C ₁₂ H ₁₂	156,23	1,00	praktisch unlöslich	264
2,6-Dimethylnaphtalin	C ₁₂ H ₁₂	156,23	1,00	praktisch unlöslich	262
Fluoren	C ₁₃ H ₁₀	166,22	1,02	praktisch unlöslich	295
Trimethylnaphtalin	C ₁₃ H ₁₄	170,25	1,01	praktisch unlöslich	146
Phenanthren	C ₁₄ H ₁₀	178,23	0,98	praktisch unlöslich	340
Anthracen	C ₁₄ H ₁₀	178,23	1,28	praktisch unlöslich	340
Methylphenanthren	C ₁₅ H ₁₂	192,26	–	praktisch unlöslich	350
Methylantracen	C ₁₅ H ₁₂	192,26	1,05	praktisch unlöslich	199
Fluoranthren	C ₁₆ H ₁₀	202,26	1,25	praktisch unlöslich	384
Pyren	C ₁₆ H ₁₀	202,26	1,27	praktisch unlöslich	404
Benz(a)fluoren	C ₁₇ H ₁₂	216,28	(> 1)	praktisch unlöslich	405
Benz(a)anthracen	C ₁₈ H ₁₂	228,29	(> 1)	praktisch unlöslich	–
Chrysen	C ₁₈ H ₁₂	228,29	1,27	praktisch unlöslich	448
Benz(b)fluoranthren	C ₂₀ H ₁₂	252,32	(> 1)	praktisch unlöslich	–
Benz(k)fluoranthren	C ₂₀ H ₁₂	252,32	(> 1)	praktisch unlöslich	480
Benzo(a)pyren	C ₂₀ H ₁₂	252,32	(> 1)	praktisch unlöslich	–
Benz(g,h,i)perylen	C ₂₂ H ₁₂	276,34	(> 1)	praktisch unlöslich	–
Dibenz(a,h)anthracen	C ₂₂ H ₁₄	278,35	(> 1)	praktisch unlöslich	–

Tabellarische Zusammenstellung der chemisch-physikalischen Eigenschaften einiger ausgewählter Kontaminanten.
Aus CRC (1995/96).

Anhang V – Einzelstofflisten

Stoff- gruppe	Einzelstoff	Standort											
		Gießen			Marburg			Weilburg			Wetzlar		
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Σ Naphtalene	+		+									
	Σ Anthracene	+		+									
	Σ Fluoranthene	+		+									
	Σ Benzo(a)pyrene	+		+									
	Naphtalin			+	+	+	+	+	+	+			
	2-Methylnaphtalin				+	+	+	+	+	+			
	1-Methylnaphtalin				+	+	+	+	+	+			
	Σ Dimethylnaphtaline				+								
	1, 4-Dimethylnaphtalin					+	+	+	+	+			
	1, 3-Dimethylnaphtalin					+	+	+	+	+			
	Acenaphtalin					+						+	
	2, 6-Dimethylnaphtalin					+	+	+	+	+			
	3, 8-Dimethylnaphtalin							+					
	Trimethylnaphtalin					+	+	+	+			+	
	Fluoren				+	+	+	+	+	+		+	
	Σ Phenanthrene	+		+									
	Phenanthren			+	+	+	+	+	+	+		+	
	Anthracen			+	+	+	+	+	+	+		+	
	Methylphenanthren				+	+	+	+	+	+		+	
	Methylantracen				+	+	+	+	+	+		+	
	Fluoranthen	+		+	+	+	+	+	+	+		+	
	Pyren				+	+	+	+	+	+		+	
	Σ Benzofluorene				+								
	Benz(a)fluoren					+	+	+	+	+		+	
	Benz(b)fluoren					+	+	+	+	+		+	
	Benz(a)anthracen				+	+	+	+	+	+		+	
	Chrysen				+	+	+	+	+	+		+	
	Σ Benzfluoranthene												
	Benz(b)fluoranthen				+	+	+	+	+	+		+	
	Benz(k)fluoranthen				+	+	+	+	+	+		+	
	Benz(a)pyren	+		+	+	+	+	+	+	+		+	
	Indenoperylen				+	+	+	+	+	+		+	
Anzahl der Einzelstoffe (Teil I)		7		10	18		23	23		21	23		
Beprobtes Umweltmedium		B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW
Parameter: + am Standort in relevanten Konzentrationen nachgewiesen													

Nachgewiesene PAK-Kontaminationen in Proben verschiedener Umweltmedien: B = Boden, BL = Bodenluft und GW = Grundwasser. Nicht nachgewiesene Einzelstoffe beruhen entweder auf zu geringen Stoffkonzentrationen oder auf nicht durchgeführten Analysen. Σ = Summenparameter.

Fortsetzung Anhang V

Stoff- gruppe	Einzelstoff	Standort													
		Gießen			Marburg			Weilburg			Wetzlar				
Polyzykl. aromat. Kohlenwasserstoffe	Indeno(1, 2, 3-cd)pyren				+		+			+					
	Acenaphten				+		+		+		+				
	Acenaphthylen				+				+		+				
	Benz(g, h, i)pyren				+				+		+				
	Dibenzo(g, h, i)pyren				+		+								
	Dibenz(a, h)anthracen				+		+		+		+		+		
Anzahl der Einzelstoffe (Teil II)					6		4		4		5		1		
Insgesamt analysierte Einzelstoffe		7		10	24		27		27		26		24		
Beprobtes Umweltmedium		B	BL	GW	B	BL	GW		B	BL	GW		B	BL	GW
Parameter: + am Standort in relevanten Konzentrationen nachgewiesen															

Nachgewiesene PAK-Kontaminationen in Proben verschiedener Umweltmedien: B = Boden, BL = Bodenluft und GW = Grundwasser. Nicht nachgewiesene Einzelstoffe beruhen entweder auf zu geringen Stoffkonzentrationen oder auf nicht durchgeführten Analysen.

Stoff- gruppe	Einzelstoff	Standort											
		Gießen			Marburg			Weilburg			Wetzlar		
Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)	Benzol	+	+	+	+	+		+	+	+			+
	Toluol	+	+	+	+	+		+	+	+			+
	Ethylbenzol	+	+	+	+	+		+	+	+			+
	Σ Xylole			+	+	+		+	+				
	m, p-Xylol	+	+	+	+	+		+		+			+
	o-Xylol	+	+	+	+	+		+		+			+
	Styrol				+	+		+		+			+
	Cumol				+	+		+		+			+
	Ethyltoluol				+	+		+		+			+
	Σ Trimethylbenzole				+								
	1, 3, 5-Trimethylbenzol				+	+		+		+			+
	1, 2, 4-Trimethylbenzol				+	+		+	+	+			+
	1, 2, 3-Trimethylbenzol				+	+		+		+			+
	Indan				+	+		+		+			+
	Inden				+	+		+		+			+
	Andere LKW ber. als Xylol								+				
Insgesamt analysierte Einzelstoffe		5	6	5	15		14	14	6	13			13
Beprobtes Umweltmedium		B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW
Parameter: + am Standort in relevanten Konzentrationen nachgewiesen													

Nachgewiesene BTEX-Kontaminationen in Proben verschiedener Umweltmedien: B = Boden, BL = Bodenluft und GW = Grundwasser. Nicht nachgewiesene Einzelstoffe beruhen entweder auf zu geringen Stoffkonzentrationen oder auf nicht durchgeführten Analysen. Σ = Summenparameter.

Fortsetzung Anhang V

Stoff- gruppe	Einzelstoff	Standort								
		Gießen			Marburg			Weilburg		
Cyanidver- bindungen	Σ Cyanide	+		+	+		+	+		
	leicht freisetzbare Cyanide			+	+		+	+		
	Thiocyanat				+		+			
Insgesamt analysierte Einzelstoffe		1		2	3		3	2		2
Beprobtes Umweltmedium		B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW
Parameter: + am Standort in relevanten Konzentrationen nachgewiesen										

Nachgewiesene Cyanid-Kontaminationen in Proben verschiedener Umweltmedien: B = Boden, BL = Bodenluft und GW = Grundwasser. Nicht nachgewiesene Einzelstoffe beruhen entweder auf zu geringen Stoffkonzentrationen oder auf nicht durchgeführten Analysen. Σ = Summenparameter.

Stoff- gruppe	Einzelstoff	Standort								
		Gießen			Marburg			Weilburg		
Phenole	Phenolindex	+		+	+		+	+		
	Σ Phenole							+		
	Phenol wdf.	+						+		+
	Phenol	+			+		+	+		+
	o-Kresol				+		+			
	m-Kresol				+		+			
	p-Kresol				+		+			
	Methylphenol				+		+			
	Σ Methylphenole	+								+
	Σ Nitrophenole				+					
	2-Nitrophenol				+					
	4-Nitrophenol									
	Σ Dimethylphenole	+			+					+
	2,6-Dimethylphenol				+		+			
	2,4-Dimethylphenol				+		+			
	2,5-Dimethylphenol				+		+			
	2,3-Dimethylphenol				+		+			
	3,4-Dimethylphenol				+		+			
	3,5-Dimethylphenol				+		+			
	Σ Trimethylphenole	+			+					+
Anzahl der Einzelstoffe (Teil I)		6		1	16		14			6
Beprobtes Umweltmedium		B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW
Parameter: + am Standort in relevanten Konzentrationen nachgewiesen										

Nachgewiesene Phenol-Kontaminationen in Proben verschiedener Umweltmedien: B = Boden, BL = Bodenluft und GW = Grundwasser. Nicht nachgewiesene Einzelstoffe beruhen entweder auf zu geringen Stoffkonzentrationen oder auf nicht durchgeführten Analysen. Σ = Summenparameter.

Fortsetzung Anhang V

Stoff- gruppe	Einzelstoff	Standort											
		Gießen			Marburg			Weilburg			Wetzlar		
Phenole	2,4,6-Trimethylphenol				+								
	Σ Trichlorphenole				+								
	2,4,6-Trichlorphenol				+								
	2,4,5-Trichlorphenol				+								
	2,4 Dinitrophenol												
	PCP												
Anzahl der Einzelstoffe (Teil II)					3		1						
Insgesamt analysierte Einzelstoffe		6		1	19		15			6			
Beprobtes Umweltmedium		B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW
Parameter: + am Standort in relevanten Konzentrationen nachgewiesen													

Nachgewiesene Phenol-Kontaminationen in Proben verschiedener Umweltmedien: B = Boden, BL = Bodenluft und GW = Grundwasser. Nicht nachgewiesene Einzelstoffe beruhen entweder auf zu geringen Stoffkonzentrationen oder auf nicht durchgeführten Analysen. Σ = Summenparameter.

Stoff- gruppe	Einzelstoff	Standort											
		Gießen			Marburg			Weilburg			Wetzlar		
Schwermetalle	Arsen	+	+		+	+		+	+				
	Blei	+	+		+	+		+	+				
	Bor												
	Cadmium			+	+	+		+	+				
	Chrom			+				+	+				
	Eisen	+	+		+	+				+			
	Kupfer			+						+			
	Mangan	+	+			+		+	+				
	Nickel	+	+		+	+		+	+				
	Selen												
	Quecksilber				+								
	Vanadium							+					
	Zink			+				+					
Insgesamt analysierte Einzelstoffe		5		9	6		6	8		8			
Beprobtes Umweltmedium		B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW
Parameter: + am Standort in relevanten Konzentrationen nachgewiesen													

Nachgewiesene Schwermetallkontaminationen in Proben verschiedener Umweltmedien: B = Boden, BL = Bodenluft und GW = Grundwasser. Nicht nachgewiesene Einzelstoffe beruhen entweder auf zu geringen Stoffkonzentrationen oder auf nicht durchgeführten Analysen.

Fortsetzung Anhang V

Stoff- gruppe	Einzelstoff	Standort											
		Gießen			Marburg			Weilburg			Wetzlar		
Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	Chloranthen						+						+
	Dichloranthen						+						+
	Trichloranthen						+						+
	Dichloridfluormethan						+						+
	Trichlorfluormethan						+						+
	1.1-Dichlorethan						+						+
	1.1.1-Trichlorethan						+		+				+
	1.1.2-Trichlorethan						+						+
	1.1-Dichlorethen						+						+
	Trichlorethen						+		+				+
	Tetrachlorethen						+		+				+
	Hexachlorethen						+						+
	Chlorbenzol						+						+
	Tetrachlormethan						+						+
	1.1.1.2-Tetrachlorethan						+						+
	Vinylchlorid												
	cis 1.2-Dichlorethen						+						+
	trans 1.2-Dichlorethen						+						+
	1.1.2-Trichlortrifluorethan						+						+
	Dichlormethan									+			
Insgesamt analysierte Einzelstoffe							19			4			19
Beprobtes Umweltmedium		B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW
Parameter: + am Standort in relevanten Konzentrationen nachgewiesen													

Nachgewiesene LHKW-Kontaminationen in Proben verschiedener Umweltmedien: B = Boden, BL = Bodenluft und GW = Grundwasser. Nicht nachgewiesene Einzelstoffe beruhen entweder auf zu geringen Stoffkonzentrationen oder auf nicht durchgeführten Analysen.

Stoff- gruppe	Parameter/Stoffe	Standort											
		Gießen			Marburg			Weilburg			Wetzlar		
Sonstige P./Stoffe (Teil I)	Kohlenwasserstoffe - H18	+		+	+		+	+		+			
	Lipophile Stoffe - H17			+	+		+			+			
	Sauerstoff			+			+						
Anzahl der Parameter (Teil I)		1	1	3	2		3	2		2			
Beprobtes Umweltmedium		B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW
Parameter: + am Standort in relevanten Konzentrationen nachgewiesen													

Nachgewiesene sonstige Parameter bzw. Stoffe in Proben verschiedener Umweltmedien: B = Boden, BL = Bodenluft und GW = Grundwasser. Nicht nachgewiesene Einzelstoffe beruhen entweder auf zu geringen Stoffkonzentrationen oder auf nicht durchgeführten Analysen.

Fortsetzung Anhang V

Stoff- gruppe	Parameter/Stoffe	Standort											
		Gießen			Marburg			Weilburg			Wetzlar		
Sonstige Parameter/Stoffe (Teil II)	CSB	+		+	+		+			+			
	AOX			+	+		+			+			
	TOC			+	+								
	POX			+			+			+			
	EOX				+								
	DOC				+		+	+		+			
	Temperatur der Probe			+			+	+		+			
	Färbung/Aussehen	+		+	+		+	+		+			
	Trübung	+		+			+			+			
	Geruch	+		+	+		+	+		+			
	ph-Wert	+		+	+		+	+		+			
	Redoxpotential U _H			+			+						
	rH-Wert			+									
	elektrische Leitfähigkeit	+		+	+		+	+		+			
	Chlorid	+		+	+		+	+		+			
	Sulfat	+		+	+		+	+		+			
	Sulfid	+			+		+	+		+			
	Nitrit - N	+		+	+		+	+		+			
	Nitrat - N	+		+	+		+	+		+			
	Hydrogencarbonat	+		+	+		+	+		+			
	Phosphat als P			+	+		+	+		+			
	Σ Phosphat			+	+		+	+		+			
	Ammonium – N	+		+	+		+	+		+			
	Argon			+									
	Stickstoff			+									
	Kohlendioxid			+									
	Methan			+									
	Natrium	+		+			+	+		+			
	Kalium	+		+			+	+		+			
	Magnesium	+		+			+	+		+			
	Calcium	+		+			+	+		+			
Anzahl der Parameter (Teil II)		17	4	24	19		25	19		24			
Beprobtes Umweltmedium		B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW
Parameter: + am Standort in relevanten Konzentrationen nachgewiesen													

Nachgewiesene sonstige Parameter bzw. Stoffe in Proben verschiedener Umweltmedien: B = Boden, BL = Bodenluft und GW = Grundwasser. Nicht nachgewiesene Einzelstoffe beruhen entweder auf zu geringen Stoffkonzentrationen oder auf nicht durchgeführten Analysen. Σ = Summenparameter.

Fortsetzung Anhang V

Stoff- gruppe	Parameter/Stoffe	Standort											
		Gießen			Marburg			Weilburg			Wetzlar		
Sonstige Parameter/ Stoffe (Teil III)	Σ Schwefel				+								
	Trockenrückstand (105°)	+			+		+						
	Abdampfrückstand (180°)	+		+	+		+	+		+			
	Glührückstand (450°)				+		+			+			
	Säurekapazität				+								
Anzahl der Parameter (Teil III)		2		1	5		3	1		2			
Insgesamt analysierte Parameter		20	5	28	26		31	22		28			
Beprobtes Umweltmedium		B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW	B	BL	GW
Parameter: + am Standort in relevanten Konzentrationen nachgewiesen													

Nachgewiesene sonstige Parameter bzw. Stoffe in Proben verschiedener Umweltmedien: B = Boden, BL = Bodenluft und GW = Grundwasser. Nicht nachgewiesene Einzelstoffe beruhen entweder auf zu geringen Stoffkonzentrationen oder auf nicht durchgeführten Analysen.

Anhang VI – Bodenaufbereitung

Nachfolgend ist die von der Firma Afvalstoffen Terminal Moerdijk B.V. (im Folgenden kurz „ATM“ genannt) in den Niederlanden betriebene Anlage beschrieben:

Thermische Behandlungsverfahren kommen vornehmlich bei der Aufbereitung von kontaminierten Feststoffen wie Erdreich, Bauschutt und anderen erdähnlichen Stoffen zum Einsatz. Prinzipiell kann eine thermische Aufbereitungsanlage nur aus einer Glüh- und einer Verbrennungseinheit sowie einem nachgeschalteten Rauchgasreiniger bestehen. In der Glühinheit werden die kontaminierten Feststoffe zuerst soweit erhitzt, bis die umweltschädlichen Komponenten ausgetrieben sind. Die ausgetriebenen und durch den Erhitzungsprozeß bereits teilweise zerlegten Komponenten werden dann in der Verbrennungseinheit unter kontrollierten Umständen mittels direkter Verbrennung vollständig abgebrochen. Die entstehenden Abgase sowie verbleibenden Reststoffe werden durch das Filtersystem der Rauchgasreinigung ausgesondert.

Die von der ATM betriebene Anlage entspricht in ihrem Aufbau der folgenden Ausführung:

- Vorbehandlung
- Transporteinrichtungen
- Trocknungstrommel
- Glühtrommel
- Verbrennungskammer
- Kühltrommel
- Nachbrenner
- Rauchgasreinigung

Vorbehandlung: Grundsätzlich werden in der thermischen Bodenreinigungsanlage nur stichfeste Stoffe behandelt. Um eine Beschädigung der Anlage zu verhindern, werden grobes Material sowie Holz, Plastik, Reifen oder Metallteile vor dem Reinigungsprozeß aussortiert. Kontaminierter Bauschutt wird vor der Reinigung in einer betriebseigenen Brecheranlage bis auf eine Korngröße von ca. 20-40 mm zerkleinert, die maximale Korngröße liegt bei 50 mm.

Materialzufuhr: Sowohl der Antransport von kontaminiertem Material zur Anlage als auch der Abtransport des gereinigten Materials erfolgt mittels Transportbändern. Innerhalb der Anlage sorgt ein stockwerkartiger Aufbau für einen schwerkraftgetriebenen Transport des Materials zwischen den einzelnen Prozeßstufen (Trommeln). Die Stoffzufuhr der Anlage ist auf eine kontinuierliche Beschickung mit 15-40 t/h ausgelegt. Die durchschnittliche Zufuhr beträgt 20-35 t/h mit Material, das eine spezifische Dichte von 1,6 t/m³ sowie einen Feuchtigkeitsgehalt von 5-40% aufweist.

Trocknungstrommel: Dem eigentlichen Reinigungsprozeß ist eine Trocknungsphase vorge-schaltet. Dabei werden den Stoffen in einer rotierenden Trommel bei ca. 150°C ein Großteil der vorhandenen Feuchtigkeit entzogen. Die Befeuerung der Trocknungstrommel erfolgt auf direkte Weise. Die Verweildauer des Materials in der Trommel beträgt 5-7 Minuten. Neben dem Wasser verdampfen während dieses Vorgangs auch ein Teil der Kontaminanten mit niedrigem Siedepunkt. Die beim Trocknungsprozeß anfallenden Abgase werden daher auch in den Nachbrenner abgeführt. Das getrocknete Material verläßt die Trommel mit einer Temperatur von ca. 120°C.

Glühtrommel: In der Glühtrommel erfolgt die eigentliche Reinigung des Materials. Es handelt sich ebenfalls um eine rotierende Trommel mit direkter Befeuerung, die allerdings feuerfest ausgemauert ist. Das Material verläßt die Trommel nach ca. 15-25 Minuten, dabei herrschen an der Auslaßseite Temperaturen von 600-850°C. Auf Grund dieser hohen Temperaturen verdampfen die Kontaminanten. Ist die Selbstentzündungstemperatur der Kontaminanten niedriger als die Temperatur in der Trommel, so verbrennen die verdampften Kontaminanten gleich in der Trommel. Die anfallenden Abgase werden ebenfalls in den Nachbrenner abgeführt.

Kühltrommel: In der doppelwandigen, rotierenden Kühltrommel wird das Material auf indirekte Weise auf ca. 50°C abgekühlt. Dabei wird eine Kühlwassermenge von 315 m³/h auf 15-30°C aufgeheizt. Das Kühlwasser wird in einem geschlossenen Kreislauf mit Kühlturm umgewälzt. Um unnötige Staubbildung zu verhindern, wird das gekühlte Material am Auslaß der Kühltrommel wieder angefeuchtet bzw. benetzt. Nach Verlassen der Trommel kann das Material durch ein Sieb wieder in Bauschutt und Erdreich separiert werden.

Nachbrenner: Im Nachbrenner werden die ausgedampften und teilweise schon zerlegten Kontaminanten vollständig abgebrochen. Der Brenner ist für eine Abgaskapazität von 50.000 Nm³/h ausgelegt. Die Verweildauer der Gase im Ofen beträgt mindestens 2 Sekunden. Die am Auslaß des Nachbrenners gemessene Temperatur beträgt 950-1400°C.

Rauchgasreinigung: Nach Verlassen des Nachverbrenners werden die hochtemperierten Verbrennungsabgase in einem Wärmetauscher abgekühlt. Danach werden dem Gasstrom mittels eines Elektrofilters ca. 99% des enthaltenen Staubes entzogen. Nach Passieren des Filters werden die Abgase mittels eines zweiten Wärmetauschers bis auf 110°C abgekühlt und dann in einen Kalksprühturm weitergeleitet. Durch den Kontakt mit dem nassem Kalk werden den Abgasen versauerte Gase wie SO₂, HCL u. ä. entzogen. Bevor die Abgase über einen Schornstein an die Umwelt abgegeben werden, wird ihnen in einem Zyklon und einem Tuchfilter erst noch der restliche Anteil Staub und Kalk entzogen.

Reststoffe: Die in Form von Filterstäuben anfallenden Reststoffe werden aus der Rauchgasreinigungsanlage in ein Silo geleitet. Von dort stehen sie als Grundstoff für andere Prozesse zum Abtransport mittels Silofahrzeugen zur Verfügung.

Anlagenkapazität: Die von der Firma ATM in Moerdijk betriebene Anlage hat eine Kapazität von ca. 500.000 t/a, dies entspricht einem Durchsatz von nahezu 1370 t/d bzw. rund 57 t/h.

Energieverbrauch: Die Befeuerung der gesamten Anlage erfolgt hauptsächlich mit Öl, bzw. anderen Kohlenwasserstoffen, die zuvor bei der Tankschiffreinigung und anderen Aufbereitungsprozessen durch die ATM rückgewonnen werden konnten. Bei einem kontinuierlichen Betrieb der Anlage beläuft sich die verbrauchte Ölmenge³⁾ auf ca. 24.000 l/d bzw. entsprechend 1.000 l/h.

Kontaminanten	Ofentemperatur °C	Nachbrenner-Temperatur °C
PAK	400 - 500	800 - 850
Cyanide	450 - 600	900 - 1.100
Chlor. Kohlenwasserstoffe	600	1.100 - 1.300

Exemplarische Auswahl der Ausdampfungs- und Verbrennungstemperaturen für einige ausgewählte Kontaminanten (ATM 1994).

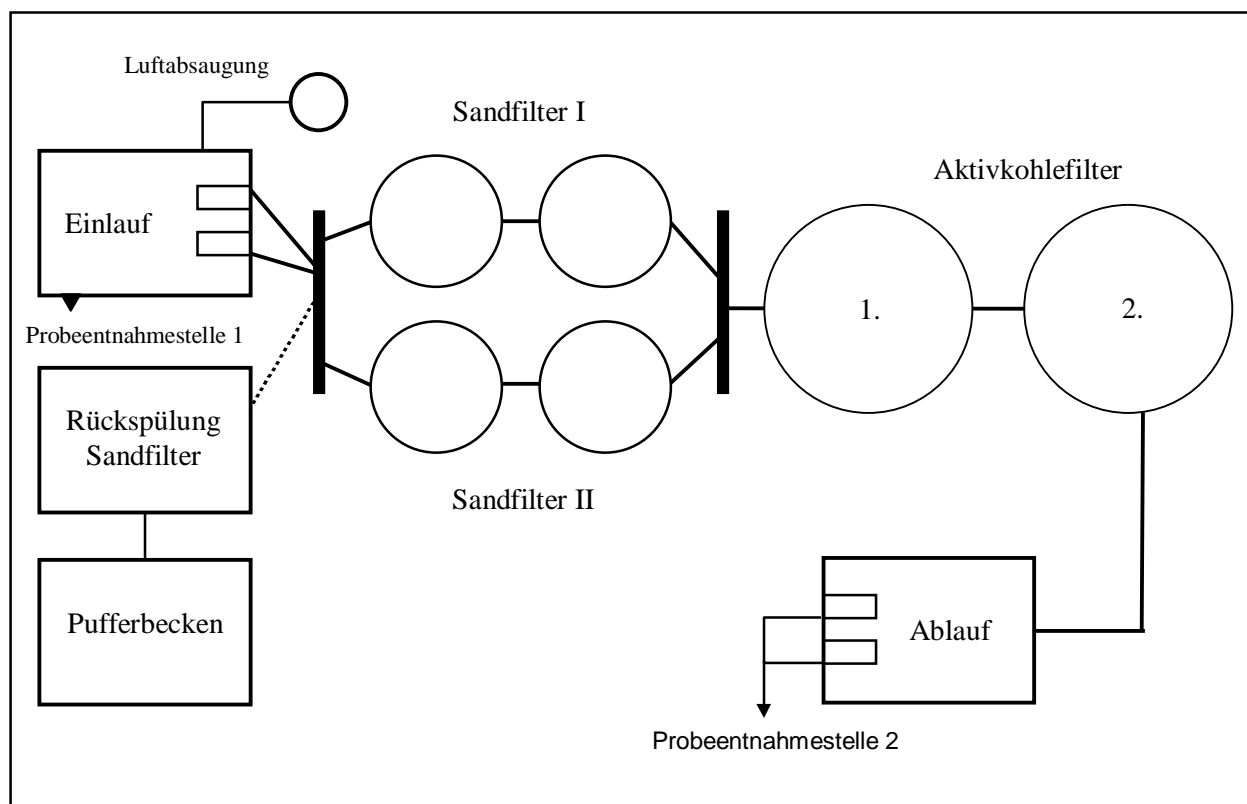
Kontaminanten	Stoffkonzentration
Kohlenwasserstoffe (Summe von Öl und PAK)	10.000 mg/kg TS *
Cyanide	2.000 mg/kg TS
Chlorierte Kohlenwasserstoffe (wie EOX)	8 mg/kg TS *
Blei	600 mg/kg TS
Zink	3.000 mg/kg TS
Quecksilber	1 mg/kg TS
Cadmium	20 mg/kg TS

Auswahl an Kontaminanten und entsprechender Kontaminationskonzentrationen von Material, das durch die Firma ATM zur thermischen Aufbereitung angenommen wird (ATM 1994). * In Abstimmung mit der ATM können auch noch höhere Konzentrationen zur Abreinigung angenommen werden.

³⁾ Laut freundlicher mündlicher Mitteilung von Herrn SOMKE (ATM).

Anhang VII – Wasseraufbereitung

Nachfolgend ist die im Sanierungsplan des Standortes Marburg (UEG 1995a) vorgeschlagene Wasseraufbereitungsanlage beschrieben.



Schematische Darstellung der Wasseraufbereitungsanlage, wie sie für die Sanierung des Standortes Marburg geplant war. Verändert nach UEG (1995a)

Anlagenkonzeption: Die gesamte Wasserreinigungsanlage wird auf einer wasserdichten Asphaltfläche installiert, die passiv in einen Pumpensumpf entwässert.

Vorlagebehälter: Um einen kontinuierlichen Reinigungsprozeß zu gewährleisten, ist die Sammlung des anfallenden Wassers in einem Puffer- oder Vorlagebehälter, in den die unterschiedlichen Teilströme einspeisen, erforderlich. Dieser Vorlagebehälter wird mit Schwallblechen ausgerüstet, um die Fließgeschwindigkeit im Behälter zu reduzieren und die Sedimentation von Schwebstoffen zu fördern. Zudem wird der Vorlagebehälter mit einer festen Abdeckung/Eindeckelung versehen, an die ggf. eine Luftabsaugung über einen Aktivkohlefilter angeschlossen werden kann.

Sandfilter: Vom Vorlagenbehälter wird das anfallende Schmutzwasser über eine niveaugesteuerte Entnahmepumpe (Schmutz / Reinwassertauchpumpe) den in Reihe geschalteten Sandfiltern zugeleitet. Die Sandfiltereinheit besteht aus 2 x 2 Filtern, wobei sich jeweils eine Filterstraße in Betrieb befindet. Die andere Filterstraße kann währenddessen mit Frischwasser rückgespült werden. Das anfallende Rückspülwasser mit hohem Feinkornanteil wird in einem separaten Pufferbehälter gesammelt und nach dem Absetzen der Schlammfracht dem Vorlagebehälter mittels Pumpe zugeführt.

Aktivkohlefilter: Im Anschluß an die Sandfilter befindet sich die Aktivkohlestrecke, die die Abreinigung der organischen Schadstoffe gewährleistet. Zur Reinigung organisch belasteter Wässer ist von einer benötigten linearen Verweildauer (bezogen auf den freien Behälterquerschnitt) des Adsorptivs auf der Aktivkohle von max. 1 h (bei PAK eher von 0,5 h) auszugehen. Das somit benötigte Festbettvolumen sollte auf zwei Filter aufgeteilt werden. Die beiden Filter werden in Reihe geschaltet, wobei lediglich der jeweils erste Filter bei Schadstoffdurchbruch mit frischer Aktivkohle neu gefüllt wird. Dieser neue unbeladene Aktivkohlefilter ist dann dem alten 2. Filter nachzuschalten.

Ein Filterdurchbruch ist jedoch bei gegebener organischer Stofffracht und Wasseranfall aufgrund der mikrobiellen Abbautätigkeit nicht zu erwarten, die Aktivkohlefilter wirken letztlich als Bioreaktoren.

Ablauf: Aus der Aktivkohleereinheit gelangt das Wasser in einen Reinwasserpufferbehälter und kann von dort mittels Pumpen (Reinwassertauchpumpe) beim Unterschreiten der Einleitengrenzwerte direkt eingeleitet werden. Zur Sicherstellung eines kontinuierlichen Betriebes der Wasseraufbereitungsanlage sind im Vorlagebehälter und Reinwasserablauf jeweils zwei unabhängige Pumpen zu installieren, wobei sich eine Pumpe in Betrieb befindet, die andere Pumpe als Reserve vorgehalten werden soll.

Sonstiges: An allen Anlagenteilen (jeweils Einlauf und Auslauf) sind Probenahmestutzen anzubringen. Die Aktivkohlefilter werden mit zonierte Probeentnahmestellen (oben, mitte, unten) versehen. Sämtliche Pumpen- und Niveauschaltungen werden auf einer zentralen wettersicheren Schaltanlage aufgelegt, wobei jede Schaltkonfiguration durch Leuchtanzeigen klar erkennbar ist. Alternativ zur Aktivkohlefiltration könnten noch die Verfahren der UV-Oxidation sowie die thermisch-katalytische Verbrennung der Austragsluft nach Passage einer Ausblaskolonne (nur für BTX) in Betracht kommen. Beide Verfahren scheiden nach gegenwärtigem Preisgefüge jedoch wegen deutlicher Mehrkosten für die Standortsanierung aus.

Betriebsüberwachung: Vor Inbetriebnahme der Wasseraufbereitungsanlage wird ein Probelauf durchgeführt, um die Reinigungsqualität und den Betriebsablauf der Anlage zu prüfen. Die Probenahmen werden während des Probelaufs in den Pufferbecken gesammelt und bei nachgewiesenem Reinigungserfolg entsprechend eingeleitet. Zur Sicherstellung des kontinuierlichen Betriebs der Wasserhaltung in der Baugrube und der damit verbundenen Wasseraufbereitung des geförderten Grundwassers, ist eine permanente Überwachung, besonders bei den Aushubarbeiten unter dem ehemaligen Grundwasserspiegel, nötig. Die Überwachung muß so durchgeführt werden, daß bei Ausfall der Pumpen in der Baugrube oder einer Störung an der Wasseraufbereitungsanlage sofort eingegriffen werden kann. Zur täglichen Überwachungsroutine gehört u. a. das Einmessen des Grundwasserniveaus in den Absenkbrunnen sowie das Ablesen der aus den einzelnen Brunnen geförderten Wassermenge. Gleichzeitig wird auch die durchgesetzte Wassermenge der Aufbereitungsanlage betriebstäglich zu festgesetzten Zeiten protokolliert. Ebenfalls werden Einleitungen von Schmutzwasser, z. B. aus dem Pumpensumpf der Abtropffläche sowie Starkniederschläge, in dem Betriebsprotokoll vermerkt. Sämtliche Ereignisse der Betriebsüberwachung werden im Betriebstagebuch festgehalten.

Die Reinigungsleistung der Anlage wird in folgendem Turnus geprüft:

- 1. Tag: 3 Messungen,
- 2.-7. Tag: jeweils 1 Messung,
- dann wöchentlich.

Hierbei werden folgende Parameter jeweils im Rohwasserzulauf, nach dem 1. Aktivkohlefilter und im Reinwasserablauf bestimmt:

- Feldparameter, PAK (EPA+MN), BTX, Phenolindex (wdfl.), Cyanide (leicht freisetzbar), LHKW, NH_4 .

Jeweils 14-tägig erfolgt eine vollständige Untersuchung von Roh- und Reinwasser bzgl. der Parameter der Grundwasser-VwV.

Anhang VIII – Datenzuordnung

Nr.	Bereich	Problematik	Lösungsvariante
1	Bautechnik	Auflistung der für die Einsatzdauer verschiedener Geräte bzw. Maschinen abgerechneten Leistungen, ohne direkten Bezug zu den dabei angefallenen Stundenlohnarbeiten.	Fehlende Angaben über die angefallenen Personalkosten werden entweder anhand der Stundenlohnlisten rekonstruiert oder entsprechend der Einsatzdauer der verwendeten Geräte bzw. Maschinen veranschlagt.
2		Leistungen für Aushub, Zwischenlagerung und Transport von Bauschutt werden nur mit den jeweiligen Massen (t) angegeben. Informationen über die Volumina (m ³), benötigtes Gerät und Arbeitsdauer fehlen.	Fehlende Angaben über die tatsächlich angefallenen bzw. bewegten Volumina (m ³) Bauschutt werden anhand von Literaturwerten über die mittlere Dichte (kg/m ³) ermittelt.
3	Sanierungstechnik	Auflistung der für die Einsatzdauer verschiedener Geräte bzw. Maschinen abgerechneten Leistungen, ohne direkten Bezug zu den dabei angefallenen Stundenlohnarbeiten.	Fehlende Angaben über die angefallenen Personalkosten werden entweder anhand der Stundenlohnlisten rekonstruiert oder entsprechend der Einsatzdauer der verwendeten Geräte bzw. Maschinen veranschlagt.
4		Leistungen für Aushub, Zwischenlagerung und Transport von unbelastetem Material werden mit den jeweiligen Massen (t) angegeben. Informationen über die Volumina (m ³), benötigtes Gerät und Arbeitsdauer fehlen.	Fehlende Angaben über die bewegten Volumina (m ³) an unbelastetem Material werden anhand des geologischen Untergrundaufbaues und den in Voruntersuchung ermittelten Kontaminantenverteilung abgeschätzt.
5	Analytik	Angaben über benötigtes Gerät, Personal und aufgewendete Arbeitszeit, die für Leistungen im Bereich der chemischen Analytik (Probenaufbereitung, etc.) aufgewendet wurden, sind weitgehend nicht vorhanden.	Da in der Literatur ebenfalls so gut wie keine entsprechenden Angaben vorliegen, wurde darauf verzichtet, eine spekulative Abschätzung vorzunehmen. Entsprechende Daten fließen somit auch nicht mit in die Bewertungen ein.
6	Entsorgung	Leistungen für die Verwertung bzw. Entsorgung von kontaminiertem Material sind nur mit den jeweiligen Massen (t) angegeben. Angaben über die Volumina (m ³), benötigtes Gerät und die aufgewendete Arbeitszeit fehlen.	Für die einzelnen Standorte werden fehlenden Angaben über die tatsächlich verwerteten bzw. entsorgten Volumina (m ³) anhand von Literaturwerten über die mittlere Dichte (kg/m ³) ermittelt.
7		Es fehlen Angaben über die verwendete Sanierungstechnik sowie deren Betriebsdauer und technische Anschlußdaten, die im Rahmen der einzelnen Verwertungs- bzw. Entsorgungsmaßnahmen angewendet wurden.	Fehlende Angaben über die zum Einsatz gekommenen Sanierungstechniken werden von den jeweiligen Anbietern angefordert oder durch Literaturwerte substituiert.

Fortsetzung Anhang VIII

Nr.	Bereich	Problematic	Lösungsvariante
8	Bautechnik ⇕ Sanierungstechnik	Für den Abbruch alter Bausubstanz bzw. ehemaliger Produktionsbereiche fehlen Angaben, die eine direkte Zuordnung der Gesamtleistung bzw. eine differenzierte Zuordnung erbrachter Teilleistungen in die bau- oder. sanierungstechnische Kenn- datengruppe zulassen.	Ist eine direkte Zuordnung nicht möglich, so wird zwischen bau- und sanierungstechnischen Leistungen anhand des Zeitpunktes (Schlußrechnung) an dem die Leistungen erbracht wurden differenziert und die Kosten der entsprechenden Kenndatengruppe zugeordnet.
9		Für die Gestellung von Arbeitsgeräten bzw. Maschinen fehlen Angaben, die eine direkte Zuordnung der Gesamtleistung bzw. eine differenzierte Zuordnung erbrachter Teilleistungen in die bau- oder. sanierungstechnische Kenndatengruppe zulassen.	
10		Bei den für Anlieferung, Vorhalten und Abtransport von Mulden bzw. Containern erbrachten Leistungen fehlen Angaben, die eine Differenzierung zwischen dem bau- und dem sanierungstechnischen Anteil der Leistungen zulassen.	
11		Zuordnung erbrachter Leistungen für das Freimachen von Gelände zur späteren Sicherung einer Felswand mittels Spritzbetonbewehrung.	Ist eine direkte Zuordnung nicht möglich, so wird zwischen bau- und sanierungstechnischen Leistungen anhand des Zeitpunktes (Schlußrechnung) an dem die Leistungen erbracht wurden differenziert und der entsprechenden Kenndatengruppe zugeordnet.
12	Bautechnik ⇕ Gutachten	Überschneidung zwischen den bautechnischen Leistungen und den gutachterlichen Leistungen.	Die gutachterlichen Leistungen werden von den bautechnischen Leistungen dadurch getrennt, daß sie nachweislich mit einer <u>nicht</u> vor Ort ausgeführten Leistung verknüpft sind.
13	Sanierungs- technik ⇕ Gutachten	Überschneidungen zwischen den sanierungstechnischen und den gutachterlichen Leistungen.	Die sanierungstechnischen werden von den gutachterlichen Leistungen dadurch getrennt, daß sie nachweislich mit einer direkten Anwesenheit, Tätigkeit oder technischen Leistung vor Ort verknüpft sind.
14	Sanierungs- technik ⇕ Entsorgung	Bei den für die Arbeiten an ehemaligen Produktions- und Gebäudeteilen abgerechneten Leistungen fehlen Angaben, um zwischen der Suche nach Produktionsbehältern und dem Entfernen der Behälter zu differenzieren.	Ist die differenzierte Zuordnung entsprechender Leistungen nicht möglich, so werden solche Leistungen ausschließlich der Kenndatengruppe Sanierungstechnik zugeordnet.

Fortsetzung Anhang VIII

Nr.	Bereich	Problematik	Lösungsvariante
15	Sanierungstechnik ⇕ Entsorgung	Bei der Auflistung, der für Aushub, Zwischenlagerung und Transport erbrachten Leistungen in Form von Komplettangeboten bzw. Pauschalpreisen ergeben sich Überschneidungen.	Entsprechende Leistungen die nicht differenziert zwischen den beiden Bereichen aufgeschlüsselt werden konnten, werden vollständig der Kenndatengruppe Entsorgung zugesprochen.
16		Es fehlen Angaben, um zwischen den erbrachten Leistungen für die Überwachung von Grundwasserständen und der Reinigung von kontaminiertem Grundwasser über Aktivkohle-filter differenzieren zu können.	Entsprechende Leistungen, die nicht differenziert zwischen den beiden Bereichen aufgeschlüsselt werden konnten, werden alleinig der Kenndatengruppe „Entsorgung“ zugesprochen.
17	Sonstige	Zuordnung separat abgerechneter Telefonkosten.	Da die Leistungen weder direkt einer einzelnen noch differenziert mehreren Kenndatengruppen zugeordnet werden können, werden sie der Kenndatengruppe „Sonstige“ zugeordnet.
18	Gutachten ⇕ Sonstige	Zuordnung der Leistungen für Annoncen bzw. die Veröffentlichungen der Sanierungsausschreibung in Zeitungen bzw. Bauausschreibungsblättern im Zuge der Sanierungsplanung.	Bekanntgaben in Zeitungen oder Bauausschreibungsblättern werden aufgrund ihrer Art (Innendienst) als gutachterliche Leistungen eingestuft und in der Kenndatengruppe „Gutachten“ aufgenommen.
19		Abgerechnete Leistungen für eine zusätzliche Schreibkraft.	Die Leistungen werden der Kenndatengruppe „Gutachten“ zugeschlagen, da die Leistungen im Zuge der Berichterstattung angefallen sind.
20	Analytik ⇕ Entsorgung	Zuordnung der Leistungen für Deklarationsanalysen, die im Zuge der Verwertung bzw. Entsorgung von kontaminiertem Material angefallen sind.	Die Leistungen für Deklarationsanalysen werden direkt von den beauftragten Unternehmen im Rahmen der Verwertung / Entsorgung von kontaminiertem Material erbracht. Die Leistungen werden daher entsprechend der Untersuchungs- und Kontrollanalysen mit in die Kenndatengruppe „Analytik“ aufgenommen.

Anhang IX – Sekundäre Umweltbelastungen

Nachfolgend wird der Zusammenhang zwischen der im Zuge verschiedenen Sanierungsmaßnahmen verbrauchten Energie und den dadurch angefallenen Belastungen der Umwelt aufgezeigt. Die erhobenen Verbrauchs- und Emissionsdaten basieren auf den "Daten zur Umwelt 1997" des Umweltbundesamtes UBA (1997).

Grundsätzlich kommt es bei der Umsetzung von Umweltsanierungen, neben der Verbesserung der lokalen Umweltqualität durch die Beseitigung der als primär umweltgefährdend eingeschätzten Stoffe am Sanierungsort, durch den Energieverbrauch zu sekundären Belastungen der Umwelt. Diese sind vorwiegend auf die Emission klimarelevanter Gase, sog. Treibhausgase – im Folgenden auch THG genannt – zurückzuführen. Ein prinzipieller Zusammenhang, zwischen der durch den Betrieb einer Sanierungsanlage verbrauchten elektrischen Energie und den durch die Stromproduktion entstehenden Umweltbelastungen, wurde bereits von QUANZ & RÖHR (1992) untersucht.

Dabei besteht zwischen den durch den Energieverbrauch bedingten Emissionen und den Sanierungsmaßnahmen, sowohl ein direkter, als auch ein indirekter Zusammenhang. Zu direkten Emissionen von Treibhausgasen kommt es u. a. durch den Verbrauch von Primärenergieträgern (Treibstoffe) in Fahrzeugen und Maschinen, die im Zuge der Sanierungen eingesetzt werden. Die indirekten Emissionen entstehen durch den vielfachen Einsatz von elektrischer Energie, z. B. für den Betrieb von Sanierungsanlagen, bei deren Herstellung ebenfalls Treibhausgase freigesetzt werden.

Wie schon in Kap. 1.2.2 (Eigene Vorgehensweise) erläutert, wird im Rahmen dieser Arbeit nicht auf die Kette an Produktionsschritten und die damit verbundenen Emissionen eingegangen, die bei der Gewinnung der Primärenergieträger (Erdöl, Uranerz, etc.) und deren Weiterverarbeitung bzw. Aufbereitung anfallen.

Klimarelevante Gase: Durch die Sonne ist die Erde einer konstanten Energiezufuhr, weitgehend in Form sichtbarer kurzweiliger Strahlung (Licht), ausgesetzt. Etwa ein Drittel (ca. 30%) der Strahlung wird durch Wolken, Partikel in der Erdatmosphäre und von der Erdoberfläche direkt wieder reflektiert. Der verbleibende Rest (ca. 70%) führt zu einer Erwärmung von Atmosphäre und Erdoberfläche. Nachts wird die gespeicherte Wärme wieder, in Form langweiliger Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung), an den Weltraum abgegeben. Dabei wird ein Teil der Strahlung durch verschiedene Bestandteile der Atmosphäre (Wasserdampf, CO₂, Spurengase) absorbiert, wodurch diese aufgeheizt wird.

Dieser Vorgang wird als "natürlicher Treibhauseffekt" bezeichnet und ist für die Entwicklung von Leben auf der Erde als essentiell anzusehen, da die Erdoberfläche ohne ihn ca. 33°C kälter wäre. Dies würde bedeuten, daß die Durchschnittstemperatur auf der Erdoberfläche, statt bei plus 15°C, bei minus 18°C liegen würde. Zum Vergleich: die durchschnittliche Oberflächentemperatur unseres Nachbarplaneten Mars liegt bei ca. minus 65°C.

Dieser natürliche Vorgang wird im wesentlichen durch die anthropogen bedingte Freisetzung von treibhauswirksamen Gasen verstärkt. Die im wesentlichen für den natürlichen Treibhauseffekt verantwortlichen Gase sind Wasserdampf (H₂O), Kohlendioxid (CO₂), Ozon (O₃), Distickstoffoxid (N₂O) und Methan (CH₄). Diese stehen mit den natürlichen Stoffkreisläufen, z. B. dem Kohlenstoffkreislauf, im Gleichgewicht (vgl. ASE 1996).

Laut UBA (1997) wird der natürliche Treibhauseffekt am stärksten durch die anthropogene Emission von Kohlendioxid (CO₂), Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) sowie Halone, Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O) und Ozon (O₃) beeinflusst. Außerdem spielen perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), Schwefelhexafluorid (HFKW) sowie Wasserdampf (H₂O) aus dem Flugverkehr eine wesentliche Rolle. Neben diesen existieren noch eine ganz Reihe anderer Gase, ca. 40 Stück, denen ebenfalls eine Treibhauseffekt verursachende Wirkung zugeschrieben wird.

Gas	Anteil in der Atmosphäre in ppm	Zunahme in % in den 80er Jahren	Verweildauer in Jahren	Relatives Treibhauspotential	Anteil am zusätzlichen Treibhaus-effekt
Kohlendioxid CO ₂	358	0,40	120	1	50 %
Methan (Sumpfgas) CH ₄	1,75	0,80	10,5	35	13 %
Distickstoffoxid (Lachgas) N ₂ O	0,31	0,25	132	260	5 %
Fluorchlorkohlenwasserstoffe u. a. CFCL ₃ und CF ₂ CL ₂	0,00028 - 0,00048	2,00 - 7,00	50 - 500	330 - 13.000	24 %
Troposphärisches Ozon und stratosphärischer Wasserdampf					8 %

Tabellarische Zusammenstellung der wichtigsten anthropogen freigesetzten Treibhausgase und ihre Verweildauer in der Atmosphäre. Aus WIEDLICH (1995).

Genaue Prognosen über die möglichen Auswirkungen des anthropogenen Treibhauseffektes sind zu diesem Zeitpunkt nicht möglich, da sich die zukünftige Entwicklung bzw. Wechselbeziehungen zwischen wichtigen Klimafaktoren u. a. Durchschnittstemperaturen, Bevölkerungsentwicklung, Windverteilung und Sonneneinstrahlung nur unzureichend abschätzen lassen. Bedingt durch diese Unwägbarkeiten, stoßen selbst die für solche Simulationsberechnungen verwendeten Höchstleistungsrechner an ihre Kapazitätsgrenzen (WIEDLICH 1995).

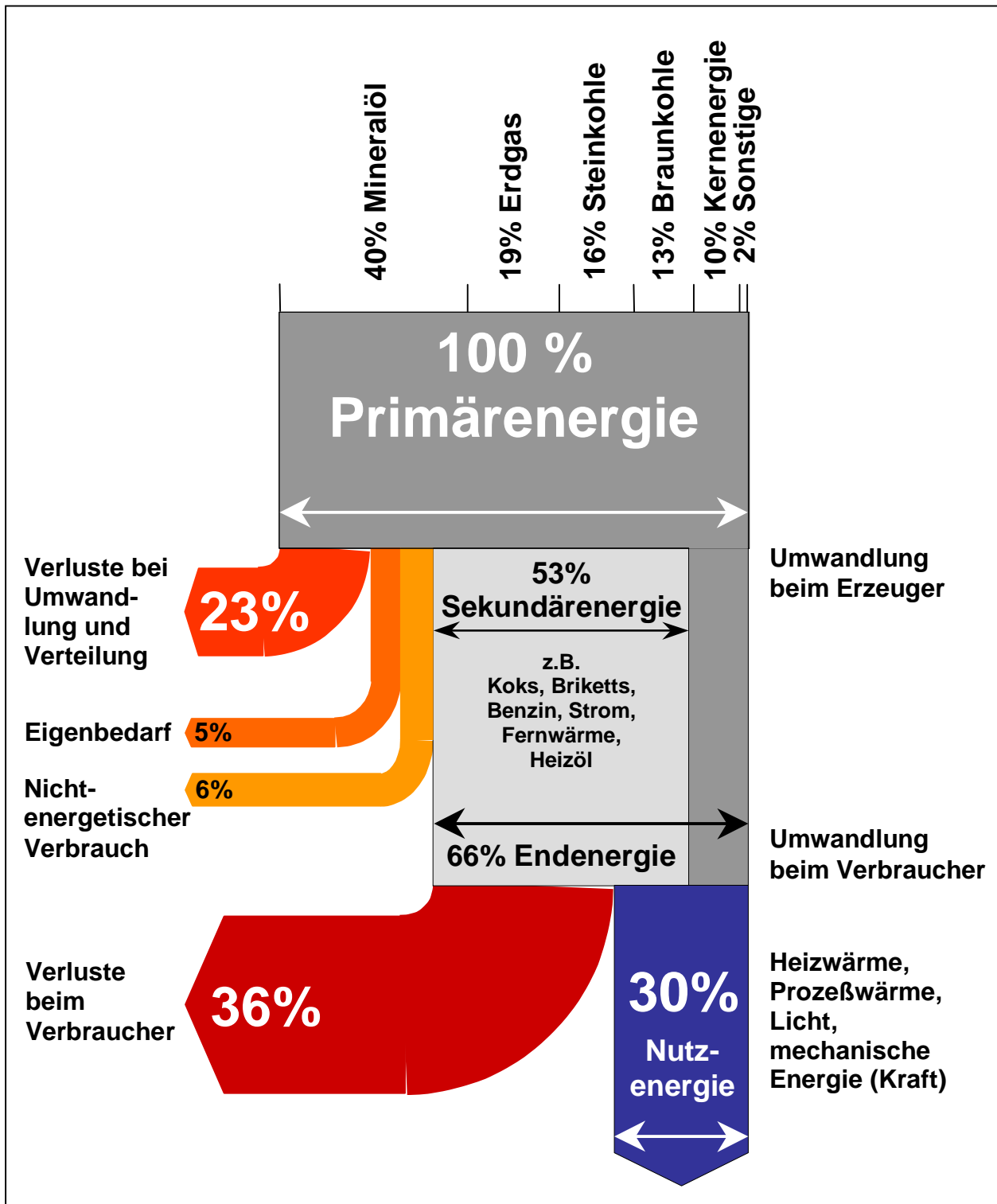
Prinzipiell wird von einer Vielzahl an weitreichenden Veränderungen ausgegangen, die sich zudem mit einer Art Domino-Effekt in ihrer Wirkung intensivieren können. Die Ausweitung bestehender und Entstehung neuer Wüstengebiete sowie die Verschiebung der landwirtschaftlichen Ertragszonen können dabei fast als harmlos betrachtet werden. Ferner werden besonders tiefgreifende Auswirkungen auf die marinen Ökosysteme und damit wiederum auf die Atmosphäre erwartet.

Durch eine Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur könnte es zum Abschmelzen der arktischen Treibeismassen kommen. Dadurch wird einerseits der Anstieg des globalen Meeresspiegels in Verbindung mit Landverlusten prognostiziert, andererseits würde es zu Veränderungen, wenn nicht zu einem Stillstand, der vertikalen Ozeanzirkulation kommen. Diese Tiefenzirkulation wird durch die winterliche Verdopplung des Packeises auf der nördlichen Hemisphäre in Gang gesetzt. Dabei kommt es zu einem Anstieg des Salzgehaltes des Meerwassers, das in Folge schwerer wird und absinkt. Mit Nährstoffen angereichert, steigt es in wärmeren Regionen wieder auf. Mit dem Zusammenbruch dieses Austauschsystems und damit verbunden auch des Golfstroms, sind drastische Veränderungen der marinen Lebenswelt zu erwarten. Gleichzeitig würde es zu unabsehbaren Veränderungen der globalen Luftzirkulation kommen, da diese besonders sensibel auf die Veränderungen der globalen Eismengen reagiert (WIEDLICH 1995).

Ein völlig anderes Szenario wird für die andere Polarregion der Erde, die Antarktis, vorhergesagt. Der dortige Eisanter speichert ca. 91% der gesamten Inlandeismenge, zudem ist er durchschnittlich 12°C kälter als das Treibeis der Arktis. Bei einer Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur könnte es am Südpol zu verstärktem Schneefall und somit zur Akkumulation von noch mehr Eis kommen. Dies hätte dann ein Absinken des globalen Meeresspiegels zur Folge (WIEDLICH 1995).

Dies sind nur einige, einer Vielzahl von möglichen Umweltveränderungen, die durch einen ungebremsten Anstieg klimarelevanter Gase in der Atmosphäre eintreten können.

Allgemeine Energieverbrauchssituation: Da durch das Umweltbundesamt, aufgrund der bereits dargestellten Erschwernisse, zuletzt für das Jahr 1992 eine ausführliche Energiebilanz erstellen werden konnte, sind nachfolgend die in den Daten zur Umwelt (UBA 1997) gemachten Angaben zum Primärenergieverbrauch des entsprechenden Jahres aufgeführt:



Energiefluß-Diagramm. Umgezeichnet und verändert nach EAM (1995).

Energieverbräuche		
Deutschland	14.150 PJ	100 %
Alte Bundesländer	11.917 PJ	ca. 84 %
Neue Bundesländer	2.233 PJ	ca. 16 %
Umwandlungsverluste	4.165 PJ	ca. 30 %
Nichtenergetischer Verbrauch	911 PJ	ca. 6 %
Endenergieverbrauch	9.074 PJ	ca. 64 %

Quelle: UBA (1997).

Die verbrauchte Primärenergiemenge von insgesamt 14.150 PJ setzt sich anteilig aus den folgenden Energieträgern zusammen:

Energieträger		
Mineralöle	5.628 PJ	ca. 40 %
Naturgase	2.391 PJ	ca. 17 %
Steinkohle	2.197 PJ	ca. 15 %
Braunkohle	2.176 PJ	ca. 15 %
Kernenergie	1.496 PJ	ca. 11 %
Erneuerbare/sonstige Energiequellen	262 PJ	ca. 2 %

Quelle: UBA (1997).

Sowohl die 11 % durch Kernkraftwerke, als auch die 2% durch regenerative Energiequellen bereitgestellter Energie, sind als weitgehend emissionsfrei von treibhauswirksamen Gasen zu sehen.

Bei den regenerativen Energiequellen handelt es sich u. a. um Wasserkraft und Windenergie, aber auch um die aus Biomasse, Müll, Klärschlamm und Abwärme gewonnene Energie. Daher kann auch dieser Bereich eigentlich nicht wirklich als frei von Spurengasemissionen angesehen werden. Der Einfachheit halber wird er allerdings ebenfalls als emissionsmindernd eingestuft.

Allgemeine Emissionssituation: Bei der Ermittlung der Emissionsangaben wurde vom Umweltbundesamt (1997) wie folgt vorgegangen: *"Die Emissionsdaten der ehemaligen DDR wurden neu berechnet, um eine Abgrenzung der Emittentengruppen zu realisieren, die eine direkte Vergleichbarkeit mit den Angaben für das bisherige Bundesgebiet ermöglicht."*

Die Emissionsberechnung erfolgt hauptsächlich auf der Grundlage der Energiebilanz, ergänzender statistischer Angaben und zusätzlich notwendiger Detailangaben von einzelnen Verbänden. So ist es möglich, die Energieeinsätze für die einzelnen Emittentengruppen nach Brennstoffen zu ermitteln. Durch Verknüpfung mit Emissionsfaktoren für diese Energieeinsätze und Emittentengruppen lassen sich die Emittentengruppen exakt abgrenzen.

Erstmals konnte diese Methode rückwirkend für die neuen Länder für die Jahre von 1987 bis 1992 angewendet werden. [. . .] Bei der Ermittlung der Emissionsmengen werden Emissionsfaktoren verwendet, die das mittlere Emissionsverhalten der Brenn- und Treibstoffe in Anlagen und Motoren sowie weitere emissionsverursachender Vorgänge kennzeichnen. Größere Unsicherheiten beinhalten die Emissionsaussagen für die Bereiche Landwirtschaft und Abfallwirtschaft. Dagegen ist die Genauigkeit der Angaben bei den verbrennungsbedingten Emissionen aus dem stationären Bereich höher und zwar insbesondere bei der Berechnung der Kohlendioxidemissionen.

Wegen fehlender Berechnungsgrundlagen (ausführliche Energiebilanz) konnten für 1993 und 1994 nur Schätzungen vorgenommen werden. Diese beruhen für die energetisch bedingten Emissionen auf Trendfortschreibungen, die sich an den vorläufigen Energieverbrauchsangaben in diesen Emittentengruppen orientieren.

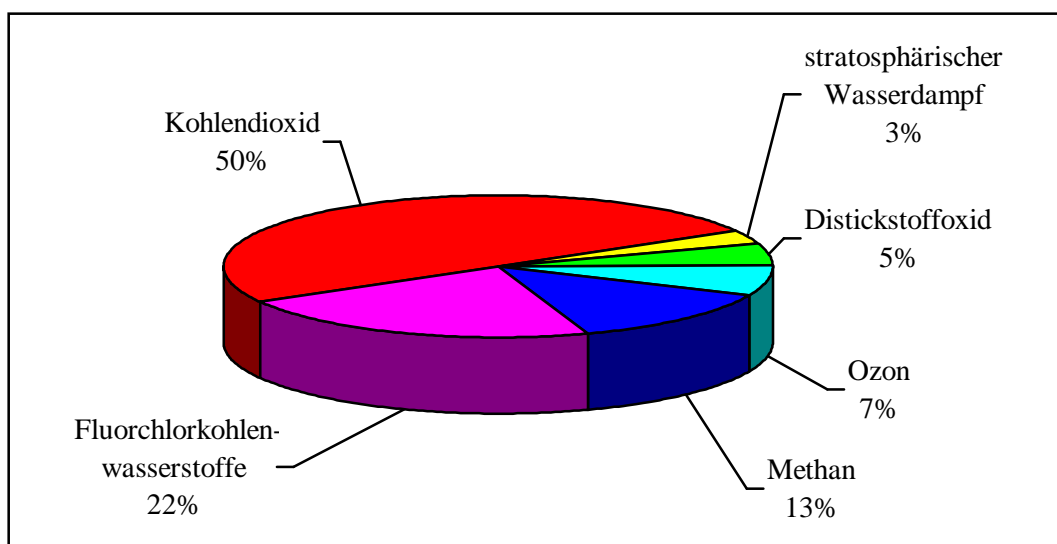
Sie stellen damit konservative Schätzungen (d. h. die realen Emissionen werden wahrscheinlich niedriger sein) dar, da der Einfluß der Weiterentwicklung der Technik und die Brennstoffumstellungen nur unzureichend berücksichtigt werden konnten. Die Angaben für die übrigen – nicht verbrennungsbedingten – Emissionen wurden im wesentlichen konstant fortgeschrieben."

Kohlendioxid als Referenzsubstanz: Aufgrund der folgenden Faktoren fiel die Wahl auf Kohlendioxid als Referenzsubstanz für die Bewertung der durch die Sanierungsmaßnahmen ausgelösten sekundären Umweltbelastungen:

- Prinzipiell wird CO₂ als farbloses, schwach säuerlich riechendes und schmeckendes, nicht brennbares Gas eingestuft, das ca. 1,5 mal schwerer als Luft und normalerweise ungiftig ist. Obwohl Kohlendioxid für viele Organismen lebensnotwendig ist, und bis zu 2,5% in der Atemluft als ungefährlich eingestuft werden, wirken 4 bis 5% betäubend und 8% sogar tödlich (Erstickung) (VCI 1995).
- Aufgrund klimatologischer Untersuchungen von Eisbohrkernen lag die atmosphärische CO₂-Konzentration in den letzten 160.000 Jahren nie so hoch wie heute. Aus Kaltzeiten wurden Kohlendioxidgehalte von 180 bis 200 ppm und aus dazwischenliegenden Warmzeiten Gehalte von 280 bis 300 ppm nachgewiesen. Um innerhalb einer Warmzeit den maximalen Konzentrationsanstieg von 50 bis 60% zu erreichen, war eine Zeitspanne von ca. 5.000 Jahren notwendig (WIEDLICH 1995).

Nachweislich hat, laut Umweltbundesamt UBA (1997), der Gehalt von CO₂ in der Atmosphäre von ca. 280 ppm in vorindustrieller Zeit bis heute auf ca. 360 ppm zugenommen. Damit hat sich die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre innerhalb von weniger als zwei Jahrhunderten um knapp 29% erhöht.

- CO₂ stellt ca. 98% der Gesamtmenge an anthropogen emittierten Treibhausgasen. Aufgrund seiner mittleren Verweildauer in der Atmosphäre von ca. 120 Jahren sowie seiner Einbindung in den natürlichen Kohlenstoffkreislauf, besitzt Kohlendioxid ein geringeres relatives Treibhauspotential als andere klimarelevante Spurengase (siehe "Klimarelevante Gase"). Dennoch beträgt sein Anteil am globalen Treibhauseffekt ca. 50% (IZE 1995). Damit hat CO₂ als Einzelstoff den bei weitem größten Anteil am anthropogen bedingten Treibhauseffekt.



Anteile der wichtigsten Spurengase am anthropogenen Treibhauseffekt. Umgezeichnet nach HEA (1995).

- Das Umweltbundesamt UBA (1997) unterteilt die global emissionsverursachenden Vorgänge in die zwei folgenden Hauptgruppen:
 - a) Verbrennungsprozesse in Anlagen und Fahrzeugen sowie
 - b) sonstige Prozesse, die u. a. auch für die nicht energiebedingten Emissionen verantwortlich sind.

So entfällt z. B. der größte Teil der Methan-Emissionen auf den nicht energiebedingten Bereich der Landwirtschaft. Im Rahmen dieser Arbeit werden allerdings vornehmlich energiebedingte Emissionen betrachtet, die durch Verbrennungsprozesse bei der Stromerzeugung sowie bei der Erzeugung von mechanischer Energie und Prozeßwärme anfallen.

Da nicht alle der als treibhauswirksam eingestuften Gase (FCKW, CH₄, O₃, N₂O, und H₂O) gleichermaßen im Zuge von energiebedingten Emissionen anfallen, wird, der besseren Verständlichkeit halber und um Fehler zu vermeiden, deren Anteil bei den nachfolgenden Umrechnungen vernachlässigt und die Emissionen von CO₂ auf 100% normiert.

Die ermittelten Emissionsangaben können trotz der o. g. Annahmen als günstige, aber repräsentative Abschätzung angesehen werden, da davon auszugehen ist, daß die tatsächlichen im Zuge der Sanierungen emittierten Spurengasmengen deutlich konservativer ausfallen.

CO₂-Äquivalente: Die beiden Hauptauslöser für die im Zuge der Sanierungen emittierten treibhauswirksamen Gase sind der Verbrauch von elektrischer Energie und der Mineralöl- bzw. Kraftstoffverbrauch. Aus der Gegenüberstellung der Emissionen und der Verbräuche ergeben sich die folgenden spezifischen Relationen:

Bei der Stromproduktion: CO₂-Emission pro kWh

Durch den Mineralölbedarf: CO₂-Emission pro l

Zur Quantifizierung der emittierten Kohlendioxidmengen werden diese jeweils in Gramm (g) angegeben.

Stromerzeugung: Da der in der Bundesrepublik produzierte Strom in ein bundes- bzw. europa-weites Verbundnetz eingespeist wird, können für die folgenden Berechnungen nicht die Emissionsdaten der den Sanierungsstandorten nächstgelegenen Kraftwerke verwendet werden. Demzufolge werden für die nachfolgenden Korrelationen Daten verwendet, die sich aus bundesweiten statistischen Erhebungen zum Primärenergieverbrauch ergeben.

Für die Berechnung der spezifischen Größe „CO₂-Emission pro kWh“ bei der Stromerzeugung werden sowohl Daten zum Umwandlungsausstoß als auch über die Emissionen aus dem Sektor „Kraft, Fernheizwerke“ benötigt. Eine Aufsplittung der Rohdaten in Umwandlungseinsatz und -ausstoß ist in den „Daten zur Umwelt 1997“ lediglich bis zum Jahr 1993 aufgeführt. Allerdings existieren für dieses Jahr keine Angaben über die verschiedenen Emissionen der betreffenden Emittentengruppe. Daher werden für die nachfolgenden Korrelationen die Angaben des entsprechenden Sektors für das Jahr 1992 verwendet. Das Umweltbundesamt (UBA 1997) macht zum Sektor der Kraft- und Fernheizwerke für das Jahr 1992 folgende Angaben:

Parameter	Bereiche		
	bundesweit	alte Länder	neue Länder
Kohlendioxid (CO ₂)	369 Mt	259 Mt	110 Mt
Stickstoffoxid (NO _x , berechnet als NO ₂)	512 kt	316 kt	196 kt
Schwefeldioxid (SO ₂)	2.190 kt	313 kt	1.877 kt
Kohlenmonoxid (CO)	114 kt	49 kt	65 kt

Tabellarische Zusammenstellung der im Zuge der Stromproduktion entstandenen Emissionen.

Parameter	Bereiche		
	bundesweit	alte Länder	neue Länder
Umwandlungsausstoß	2.339 PJ	1.898 PJ	441 PJ

Tabellarische Zusammenstellung der im Sektor „Kraft, Fernheizwerke“ produzierten Energiemengen in Petajoule.

Mit den o. g. Angaben und der nachfolgenden Umrechnungstabelle lassen sich die bei der Stromproduktion entstandenen Emissionen pro Kilowattstunde berechnen:

	1 kWh	1 PJ	1 kJ	1 J	1 SKE
kWh		$2,78 \times 10^8$	$2,78 \times 10^{-4}$	$2,78 \times 10^{-7}$	8,14
PJ	$3,6 \times 10^{-9}$		1×10^{-12}	1×10^{-15}	$2,93 \times 10^{-8}$
kJ	3.600	1×10^{12}		0,001	$2,93 \times 10^4$
J	$3,6 \times 10^6$	1×10^{15}	1000		$2,93 \times 10^7$
SKE	$1,23 \times 10^{-1}$	$3,4 \times 10^7$	$3,4 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-8}$	

Umrechnungstabelle für Energieeinheiten. Aus BMWi (1994).

Parameter	Bereiche		
	bundesweit	alte Länder	neue Länder
Umwandlungsausstoß	ca. 650 Mrd. kWh	ca. 528 Mrd. kWh	ca. 123 Mrd. kWh

Darstellung der im Sektor „Kraft, Fernheizwerke“ produzierten Energiemenge, umgerechnet in Kilowattstunden.

Pro erzeugter Kilowattstunde Strom resultieren somit die Emissionen folgender Stoffmengen:

Parameter	Bereiche		
	bundesweit	alte Länder	neue Länder
Kohlendioxid (CO ₂)	568 g/kWh	491 g/kWh	897 g/kWh
Stickstoffdioxid (NO _x , berechnet als NO ₂)	0,8 g/kWh	0,6 g/kWh	1,6 g/kWh
Schwefeldioxid (SO ₂)	3,4 g/kWh	0,6 g/kWh	15,3 g/kWh
Kohlenmonoxid (CO)	0,2 g/kWh	0,1 g/kWh	0,6 g/kWh

Tabellarische Zusammenstellung der bei der Stromproduktion pro Kilowattstunde anfallenden Emissionen.

Plausibilitätstest: Die nachfolgenden Berechnungen wurden zur Kontrolle der statistisch ermittelten CO₂-Emissionen pro kWh angestellt. Unter der Annahme eines vollständigen Verbrennungsprozesses fossiler Primärenergieträger kann überschlägig die stöchiometrische CO₂-Menge ermittelt werden, die bei der Umwandlung von 1 Liter Heizöl (C₁₅ - C₁₈) in elektrische Energie entsteht.

Als Berechnungsgrundlage wurde Hexadekan (Cetan) C₁₆H₃₄ mit einer Dichte von 0,78 g/cm³ gewählt. Hieraus ergibt sich, daß 1 Liter C₁₆H₃₄ eine Masse von ca. 780 g hat. Da 1 Mol Hexadekan ein Gewicht von ca. 226 g hat, von dem der Kohlenstoffanteil ca. 192 g beträgt, entspricht 1 Liter somit ungefähr 3,5 Mol, die wiederum eine Gesamtmenge von 672 g Kohlenstoff enthalten.

Dagegen entspricht 1 Mol CO₂ einem Gewicht von ca. 44 g, von dem der Kohlenstoffanteil ca. 12 g beträgt. Entsprechend enthalten 56 Mol CO₂ die gleichen 672 g Kohlenstoff wie ein Liter Hexadekan.

Bei der vollständigen Umsetzung von 1 Liter Hexadekan entsteht folglich eine Menge von 56 Mol oder umgerechnet ca. 2.464 g CO₂.

Laut EAM (1995) entspricht der Brennwert von einem Liter Heizöl überschlägig ca. 10 kWh elektrischer Energie. Da derzeit von einer durchschnittlichen Nutzenergieausbeute von ca. 30 % (EAM 1995) ausgegangen werden muß, entstehen durch die angenommene vollständige Verbrennung von 1 Liter Heizöl durchschnittlich ca. 3 Kilowattstunden elektrische Energie. Somit ergibt sich für den Verbrauch von 1 Kilowattstunde Strom eine Emission von ca. 821 g CO₂.

Die von den „Daten zur Umwelt 1997“ des Umweltbundesamtes abgeleiteten spezifischen CO₂-Emissionen variieren teilweise beträchtlich von den oben berechneten. So werden bundesweit nur ca. 70% der o. g. CO₂-Menge pro Kilowattstunde emittiert. Die Emission der alten Bundesländer liegen ca. 40% unter, die der neuen Bundesländer mit ca. 10% über dem Ergebnis des stöchiometrischen Rechenbeispiels.

Gleichzeitig steht die ermittelte Differenz aber im Einklang mit den Angaben der VDEW (1994), die angibt, daß in den Jahren 1990 bis 1993 ca. 40% des westdeutschen Stroms CO₂-frei (Kern-, Wind-, Wasserkraft, etc.) produziert worden ist.

Es muß hier nochmals betont werden, daß die vom Umweltbundesamt ermittelten spezifischen Emissionsdaten pro kWh nur statistische Größen sind. Würde z. B. der Anteil an regenerativen Energiequellen steigen, so würden im Gegenzug auch die spezifischen Kohlendioxidemissionen sinken.

Kraftstoffverbrauch: Für die Ermittlung der spezifischen Relation „CO₂-Emission pro l“; die sich aus dem Verbrauch von Dieselmotorkraftstoff bzw. Mineralöl sowohl durch Fahrzeuge und Baumaschinen als auch durch die thermische Behandlung von Boden ergibt, werden ebenfalls die o. g. Berechnungen herangezogen.

Laut EAM (1995) hat ein Liter Diesel denselben Brennwert, nämlich ca. 10 kWh elektrische Energie, wie ein Liter Heizöl. Demnach kann auch für den durch die Sanierungsmaßnahmen entstehenden Mineralölverbrauch Hexadekan als Vergleichssubstanz herangezogen werden. Wie bereits durch die obigen Berechnungen gezeigt, entstehen bei der vollständigen Umsetzung von 1 Liter Hexadekan ca. 2.464 g CO₂. Dazu ist zu bemerken, daß es bei Verbrennungsprozessen i. d. R. nicht zu einer vollständigen Umsetzung der vorhandenen Kohlenstoffmenge kommt.

Aufgrund der o. g. Angaben werden den nachfolgenden Korrelationen die mittleren CO₂-Emissionswert von:

- **500 g CO₂/kWh** (Strom) sowie
 - **2.400 g CO₂/l** (Mineralöl)
- zugrundegelegt.

Anhang X – Monetäre Kenndaten

Nachfolgend sind die monetären Kenndaten der abgeschlossenen Sanierungen der Standorte Weilburg und Wetzlar im Detail dargestellt.

I. d. R. werden mit einer einzelnen Rechnung mehrere verschiedene oder aber auch gleiche Leistungen abgerechnet. Diese können zudem jeweils über einen kürzeren (Tag) oder aber längeren Zeitraum (Wochen/Monate) erbracht worden sein.

Aufgrund der Zuweisung der in den einzelnen Rechnungen aufgeführten Gesamt- oder Teilleistungen zu den, in Kap. 3.2.4 bereits näher erläuterten, Kenndatengruppen „Bau-“ bzw. „Sanierungstechnik“, „Gutachten“, „Analytik“, „Entsorgung“, „Eigen“, „Gebühren“ sowie „Sonstige“, mußten bei der Darstellungsweise der monetären Kenndaten gewisse Konzessionen getroffen werden.

Die einzelnen Rechnungen wurden mit einer fortlaufenden Numerierung und einem Datum für die Erbringung der einzelnen Leistungen versehen. Dabei wurde allerdings nicht das Datum berücksichtigt, an dem die einzelnen Leistungen jeweils tatsächlich erbracht worden sind, sondern stattdessen für alle Einzelleistungen gleichermaßen das Buchungsdatum der jeweiligen Abrechnung herangezogen. Aufgrund dieser Vorgehensweise sind in den einzelnen Kenndatengruppen verschiedene Leistungen unter derselben Laufnummer bzw. unter demselben Datum eingetragen.

Leistungsnachweise, bei denen das Abrechnungsdatum nicht eindeutig zugeordnet werden konnte (siehe Sanierung Weilburg; Lfd. Nr. 14), wurden zwar in der chronologischen Reihenfolge belassen, jedoch nur durch das Sanierungsjahr gekennzeichnet.

Für beide Standorte sind zu Beginn jeweils die den verfügbaren Leistungsnachweisen entnommenen Gesamtkosten dargestellt, danach folgen jeweils die Einzelauflistungen der Teilleistungen. Die Einteilung der verschiedenen Rechnungsposten erfolgt jeweils unter Berücksichtigung der o. g. Kenndatengruppen.

Diese Darstellungsweise ermöglicht es, Aussagen über die Sanierungen, nicht nur nach Abschluß aller Maßnahmen, sondern bereits nach verschiedenen Zeit- bzw. Sanierungsinkrementen, treffen zu können.

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Gesamtkosten	
Lfd. Nr.	Datum		
1	07.12.90	Entsorgung / Verwertung	1.539,16 DM
2	31.12.90	Entsorgung / Verwertung	381,00 DM
3	15.02.91	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen, Analytik	20.742,05 DM
4	21.02.91	Bau- / Sanierungstechnische Leistungen, Entsorgung / Verwertung	28.452,33 DM
5	31.03.91	Eigene Leistungen	1.881,94 DM
6	15.08.91	Gutachterliche Leistungen	1.180,00 DM
7	17.02.92	Eigene Leistungen	1.410,10 DM
8	18.02.92	Bau- / Sanierungstechnische Leistungen, Entsorgung	16.129,80 DM
9	18.02.92	Sanierungstechnische Leistungen	5.027,60 DM
10	29.02.92	Eigene Leistungen	995,00 DM
11	29.02.92	Bautechnische Leistungen	304,24 DM
12	02.03.92	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen, Analytik	6.650,65 DM
13	03.03.92	Eigene Leistungen	10.274,97 DM
14	'92	Eigene Leistungen	19,38 DM
15	16.03.92	Entsorgung / Verwertung	5.399,05 DM
16	31.03.92	Entsorgung / Verwertung	4.878,85 DM
17	28.04.92	Entsorgung / Verwertung	390,00 DM
18	29.04.92	Entsorgung / Verwertung	5.312,94 DM
19	25.05.92	Entsorgung / Verwertung	3.978,80 DM
20	30.06.92	Entsorgung / Verwertung	6.975,84 DM
21	13.07.92	Entsorgung / Verwertung	1.740,00 DM
22	29.09.92	Sanierungstechnische Leistungen	185,00 DM
23	04.11.92	Chemische Analytik, Entsorgung / Verwertung	1.740,00 DM
24	04.11.92	Sanierungstechnische Leistungen, Chemische Analytik	6.947,00 DM
25	05.11.92	Sanierungstechnische Leistungen	51,32 DM
26	16.11.92	Sanierungstechnische Leistungen	149,50 DM
27	30.11.92	Sanierungstechnische Leistungen	1.208,30 DM
28	02.12.92	Sanierungstechnische Leistungen	47,37 DM
29	30.12.92	Sanierungstechnische Leistungen	166,11 DM
30	31.12.92	Sanierungstechnische Leistungen	987,00 DM
31	13.01.93	Gutachterliche Leistungen	1.045,00 DM
32	02.02.93	Sanierungstechnische Leistungen	234,00 DM
33	18.02.93	Bau- / Sanierungstechnische Leistungen, Chemische Analytik, Entsorgung / Verwertung	40.500,61 DM
34	24.02.93	Entsorgung / Verwertung	300,00 DM
35	25.02.93	Sanierungstechnische Leistungen	36,52 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Gesamtkosten	
Lfd. Nr.	Datum		
36	01.03.93	Sanierungstechnische Leistungen	240,00 DM
37	05.03.93	Entsorgung / Verwertung	186,56 DM
38	18.03.93	Entsorgung / Verwertung	239,13 DM
39	19.04.93	Bau- / Sanierungstechnische Leistungen, Chemische Analytik	27.244,45 DM
40	24.05.93	Behördliche Gebühren	260,87 DM
41	28.05.93	Chemische Analytik, Entsorgung / Verwertung	1.900,00 DM
42	10.06.93	Sanierungstechnische Leistungen	23,20 DM
43	30.06.93	Sanierungstechnische Leistungen, Chemische Analytik	2.808,90 DM
44	30.06.93	Sanierungstechnische Leistungen, Chemische Analytik	10.681,20 DM
45	30.07.93	Gutachterliche Leistungen, Chemische Analytik	3.166,00 DM
46	30.07.93	Chemische Analytik	2.841,00 DM
47	11.08.93	Bau-/Sanierungstechnische Leistungen	20.939,85 DM
48	12.08.93	Sanierungstechnische Leistungen, Chemische Analytik, Entsorgung / Verwertung	8.555,00 DM
49	15.09.93	Sanierungstechnische Leistungen	5,78 DM
50	01.10.93	Sanierungstechnische Leistungen	64,35 DM
51	04.10.93	Sanierungstechnische Leistungen	1.115,00 DM
52	05.10.93	Entsorgung / Verwertung	10,00 DM
53	13.10.93	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen	4.906,25 DM
54	10.11.93	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen, Chemische Analytik	15.769,88 DM
55	28.02.94	Entsorgung/Verwertung	18.853,48 DM
56	08.03.94	Bau-/Sanierungstechnische Leistungen	13.449,00 DM
57	16.03.94	Entsorgung / Verwertung	31.363,60 DM
58	16.03.94	Entsorgung / Verwertung	36.670,30 DM
59	18.04.94	Gutachterliche Leistungen	23.230,76 DM
60	09.05.94	Bau- / Sanierungstechnische Leistungen, Entsorgung / Verwertung	7.256,20 DM
61	31.05.94	Chemische Analytik, Entsorgung / Verwertung	1.900,00 DM
62	02.09.94	Sanierungstechnische Leistungen	719,16 DM
63	20.09.94	Gutachterliche Leistungen	1.623,50 DM
64	30.09.94	Gutachterliche Leistungen	1.564,50 DM
65	06.10.94	Bautechnische Leistungen	1.348,20 DM
66	19.10.94	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen	19.878,95 DM
67	28.10.94	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen	15.264,75 DM
68	21.12.94	Gutachterliche Leistungen	1.492,98 DM
69	30.12.94	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen	35.148,60 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Gesamtkosten	
Lfd. Nr.	Datum		
70	28.02.95	Bautechnische Leistungen	125,20 DM
71	28.02.95	Bautechnische Leistungen	4.478,87 DM
72	10.03.95	Bautechnische Leistungen	529,20 DM
73	27.03.95	Bautechnische Leistungen	781,20 DM
74	07.06.95	Bautechnische Leistungen	781,20 DM
75	13.07.95	Gutachterliche Leistungen	13.178,25 DM
76	24.07.95	Gutachterliche Leistungen	2.565,00 DM
77	08.08.95	Bautechnische Leistungen	1.405,05 DM
78	04.09.95	Bautechnische Leistungen	52,09 DM
79	05.09.95	Bau-/Sanierungstechnische Leistungen	203.045,06 DM
80	06.09.95	Bautechnische Leistungen	819,00 DM
81	08.09.95	Bautechnische Leistungen	2.390,68 DM
82	19.09.95	Bautechnische Leistungen	741,00 DM
83	19.09.95	Sanierungstechnische Leistungen	31.050,00 DM
84	27.09.95	Gutachterliche Leistungen	7.520,61 DM
85	17.10.95	Sanierungstechnische Leistungen	1.840,00 DM
86	03.11.95	Sanierungstechnische Leistungen, Chemische Analytik	16.454,50 DM
87	06.11.95	Bautechnische Leistungen	428,40 DM
88	07.11.95	Bautechnische / Gutachterliche Leistungen	14.441,25 DM
89	15.11.95	Entsorgung / Verwertung	43.687,00 DM
90	16.11.95	Sanierungstechnische Leistungen	321.561,13 DM
91	16.11.95	Sanierungstechnische Leistungen	442.656,11 DM
92	24.11.95	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen, Entsorgung / Verwertung	601.377,01 DM
93	30.11.95	Gutachterliche Leistungen	1.095,65 DM
94	13.12.95	Sanierungstech. Leistungen, Chem. Analytik, Sonstige Kosten	39.896,12 DM
95	14.12.95	Entsorgung / Verwertung	72.847,60 DM
96	20.12.95	Sanierungstechnische Leistungen, Entsorgung / Verwertung	291.459,84 DM
97	21.12.95	Sanierungstechnische Leistungen, Chemische Analytik	73.335,50 DM
98	21.12.95	Sanierungstechnische Leistungen	4.933,55 DM
99	21.12.95	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen	29.894,90 DM
100	31.12.95	Entsorgung/Verwertung	690,00 DM
101	31.12.95	Entsorgung / Verwertung	10.149,72 DM
102	12.01.96	Sanierungstechnische Leistungen	5.820,85 DM
103	31.01.96	Sanierungstechnische Leistungen	85.733,55 DM
104	02.02.96	Sanierungstechnische Leistungen	9.576,59 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Gesamtkosten	
Lfd. Nr.	Datum		
105	12.02.96	Sanierungstechnische Leistungen, Chemische Analytik, Sonstige Kosten	45.695,77 DM
106	12.02.96	Sanierungstechnische Leistungen	7.512,00 DM
107	12.02.96	Sanierungstechnische Leistungen, Entsorgung / Verwertung	298.625,00 DM
108	21.02.96	Bau-/Sanierungstechnische Leistungen	36.561,70 DM
109	21.02.96	Sanierungstechnische Leistungen	1.440,99 DM
110	08.03.96	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen, Chemische Analytik, Sonstige Kosten	11.971,30 DM
111	14.03.96	Sanierungstechnische Leistungen	11.069,19 DM
112	19.03.96	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen	13.011,50 DM
113	20.03.96	Sanierungstechnische Leistungen	201,00 DM
114	29.03.96	Sanierungstechnische Leistungen	8.660,56 DM
115	19.04.96	Sanierungstechnische Leistungen	4.876,77 DM
116	19.04.96	Sanierungstechnische Leistungen	2.146,16 DM
117	29.04.96	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen, Chemische Analytik, Sonstige Kosten	3.116,70 DM
118	09.05.96	Gutachterliche Leistungen	3.056,50 DM
119	14.05.96	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen, Chemische Analytik, Sonstige Kosten	5.479,35 DM
120	03.06.96	Sanierungstechnische Leistungen	455.255,27 DM
121	13.06.96	Sanierungstechnische / Gutachterliche Leistungen, Chemische Analytik	2.872,00 DM
122	25.06.96	Gutachterliche Leistungen	4.900,00 DM
123	08.07.96	Sanierungstech. / Gutachterliche Leistungen, Chem. Analytik	2.978,00 DM
124	11.07.96	Gutachterliche Leistungen	1.509,00 DM
125	01.08.96	Sanierungstech. / Gutachterliche Leistungen, Chem. Analytik	5.266,00 DM
126	08.08.96	Sanierungstechnische Leistungen	31.438,58 DM
127	09.08.96	Gutachterliche Leistungen	2.759,00 DM
128	04.09.96	Sanierungstechnische Leistungen, Chemische Analytik	1.712,00 DM
129	01.10.96	Sanierungstechnische Leistungen	10.680,27 DM
130	17.10.96	Sanierungstechnische Leistungen	20.744,33 DM
131	10.11.96	Sanierungstech.e / Gutachterliche Leistungen, Chem. Analytik	3.794,61 DM
132	11.11.96	Sanierungstech. / Gutachterliche Leistungen, Chem. Analytik	2.654,50 DM
133	11.11.96	Gutachterliche Leistungen	14.237,26 DM
134	06.12.96	Sanierungstechnische Leistungen	1.809,00 DM
135	16.01.97	Sanierungstechnische Leistungen, Chemische Analytik	1.712,00 DM
136	22.01.97	Sanierungstechnische Leistungen	61,43 DM
Gesamt:			3.843.132,25 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Bautechnische Leistungen	
Lfd. Nr.	Datum		
4	21.02.91	Beton-/Eisenteile bearbeiten, Transp., Entsorg.	8.457,54 DM
8	18.02.92	Einrichten der Baustelle, Abfangen Gebäude	11.987,43 DM
11	29.02.92	Umbau Dachentwässerung	304,24 DM
33	18.02.93	Zwischenlagerung, An-/Abtransport Containern	1.899,00 DM
39	19.04.93	Zwischenlagerung, An-/Abtransport Containern	721,20 DM
47	11.08.93	Zwischenlagern von Bauschuttmulden	1.321,00 DM
56	08.03.94	Zwischenlagern von Bauschuttmulden	1.449,00 DM
60	09.05.94	Zwischenlagern von Bauschuttmulden	781,20 DM
65	06.10.94	Zwischenlagern von Bauschuttmulden	1.348,20 DM
70	28.02.95	Gasanschluß umverlegen	125,20 DM
71	28.02.95	Erdarbeiten im Zuge der Umverlegung	4.478,87 DM
72	10.03.95	Zwischenlagern von Bauschuttmulden	529,20 DM
73	27.03.95	Zwischenlagern von Bauschuttmulden	781,20 DM
74	07.06.95	Zwischenlagern von Bauschuttmulden	781,20 DM
77	08.08.95	Strom-Notversorgung f. Wohngebäude einricht.	1.405,05 DM
78	04.09.95	Notbeleuchtung für Zufahrt	52,09 DM
79	05.09.95	Abbrucharbeiten	105.427,20 DM
80	06.09.95	Zwischenlagern von Bauschuttmulden	819,00 DM
81	08.09.95	Abflußkanal des Wohnhauses umverlegen	2.390,68 DM
82	19.09.95	Fußweg zum bestehenden Wohnhaus schottern	741,00 DM
87	06.11.95	Zwischenlagern von Bauschuttmulden	428,40 DM
88	07.11.95	Überwachung der Abbrucharbeiten	5.516,00 DM
108	21.02.96	Abbrucharbeiten	4.392,80 DM
Gesamt:			156.136,70 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Sanierungstechnische Leistungen	
Lfd. Nr.	Datum		
3	15.02.91	Ortstermine (Bespr., Überwachung, Probenahmen)	2.932,05 DM
4	21.02.91	Reste v. Produktionsanlagen suchen, freilegen, lagern	6.658,30 DM
8	18.02.92	Niederbringen von Untersuchungsbohrungen, etc.	1.091,97 DM
9	18.02.92	Stundenlohnarbeiten in der Zeit v. 05.02 - 07.07.1992	5.027,60 DM
12	02.03.92	Ortstermine (Bespr., Überwachung, Probenahmen)	1.545,65 DM
22	29.09.92	Stellgebühr und Miete für Container	185,00 DM
24	04.11.92	Gestellung + Test einer Gaswasserreinigungsanlage	5.507,00 DM
25	05.11.92	Containerabdeckung	51,32 DM
26	16.11.92	Arbeitsschutzausrüstung	149,50 DM
27	30.11.92	Ortstermine (Bespr., Überwachung, Probenahmen)	1.208,30 DM
28	02.12.92	Containerabdeckung	47,37 DM
29	30.12.92	Baggerstd. für Auf-/Abladen von Aktivkohlefiltern	166,11 DM
30	31.12.92	Stellgebühr und Miete für Container	987,00 DM
32	02.02.93	Stellgebühr und Miete für Container	234,00 DM
33	18.02.93	Arbeitsschutzausrüstung	210,65 DM
35	25.02.93	Arbeitsschutzausrüstung	36,52 DM
36	01.03.93	Stellgebühr und Miete für Container	240,00 DM
39	19.04.93	Gestellung v. Arbeitsgerät, An- + Abtransport, etc.	26.357,48 DM
42	10.06.93	Containerabdeckung	23,20 DM
43	30.06.93	Überwachung der Geländearbeiten	1.861,90 DM
44	30.06.93	Einrichten Pumpen, Pumpversuche, Probenahmen	5.509,20 DM
47	11.08.93	Zwischenlagern v. Mulden, Vorhalten von Gerät, etc.	19.618,85 DM
48	12.08.93	Vorhalten, An- + Abtransport eines Aktivkohlefilters	4.795,00 DM
49	15.09.93	Befestigung für Containerabdeckung	5,78 DM
50	01.10.93	Containerabdeckung	64,35 DM
51	04.10.93	Stellgebühr und Miete für Container	1.115,00 DM
53	13.10.93	Ortstermin (Vermessung, Geländeaufnahme, etc.)	980,00 DM
54	10.11.93	Bohr-/Sondierungen, Vermessen d. Aufschlußpunkte	7.268,88 DM
56	08.03.94	Zwischenlagern von Deckelmulden	12.000,00 DM
60	09.05.94	Zwischenlagern von Deckelmulden	2.000,00 DM
62	02.09.94	Zufahrt zum Zwischenlager instandsetzen	719,16 DM
66	19.10.94	Sondier-/Kernbohrungen, Boden- und Wasserproben	13.232,95 DM
67	28.10.94	Orts- und Besprechungstermine, Bausubstanzunters.	7.188,75 DM
69	30.12.94	Ortstermine, Probenahmen	960,00 DM
79	05.09.95	Wasserhaltung, Bereitstellungsfl., Verbau, Sicherung	97.617,86 DM
83	19.09.95	Stellen + Vorhalten der Wasseraufbereitungsanlage	31.050,00 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Sanierungstechnische Leistungen	
Lfd. Nr.	Datum		
85	17.10.95	Freimachen des Baugeländes	1.840,00 DM
86	03.11.95	Überwachung der Sanierungsarbeiten	13.254,50 DM
90	16.11.95	Wasserhaltung, Bereitstellungsfl., Verbau, Sicherung	321.561,13 DM
91	16.11.95	Baugrubenverbau und Baugrubensicherung	442.656,11 DM
92	24.11.95	Vorhalten/Betreiben der Wasseraufbereitungsanlage	26.588,00 DM
94	13.12.95	Überwachung der Sanierungsarbeiten, Probenahme	15.097,50 DM
96	20.12.95	Abbauen der Wasseraufbereitungsanlage, etc.	12.650,00 DM
97	21.12.95	Überwachung der Sanierungsarbeiten	32.885,50 DM
98	21.12.95	Überwachung d. Sanierungsarbeiten, Sondierungen	4.933,55 DM
99	21.12.95	Überwachung d. Sanierungsarbeiten, Laborversuche	8.854,40 DM
102	12.01.96	Bearbeitung/Auswertung d. Ausschreibungsunterlag.	5.820,85 DM
103	31.01.96	Baustelleneinrichtung, Wasserhaltung, etc.	85.733,55 DM
104	02.02.96	Erdarbeiten f. öffentlichen Stromanschluß Wohnhaus	9.576,59 DM
105	12.02.96	Überwachung der Sanierungsarbeiten	13.569,00 DM
106	12.02.96	Überwachung der Sanierungsarbeiten	7.512,00 DM
107	12.02.96	Ersatzmaterial, Wasseraufberei., Bodenluftabsauganl.	21.465,54 DM
108	21.02.96	Baugrubenverbau, Beweissicherung	32.168,90 DM
109	21.02.96	Baustelleneinrichtung, Wasserhaltung, etc.	1.440,99 DM
110	08.03.96	Grundwasserüberwachung, Probenahme	3.460,00 DM
111	14.03.96	Arbeiten an Kabelgraben (Stromanschluß Wohnhaus)	11.069,19 DM
112	19.03.96	Koordinierung/Bearbeiten v. Rammkernsondierungen	6.464,00 DM
113	20.03.96	Klarpumpen der Grundwassermeßstellen	201,00 DM
114	29.03.96	Arbeiten an Kabelgraben (Stromanschluß Wohnhaus)	8.660,56 DM
115	19.04.96	Fassadenwiederherstellung am Wohnhaus	4.876,77 DM
116	19.04.96	Oberflächenwiederherstellung am Kabelgraben	2.146,16 DM
117	29.04.96	Grundwasserüberwachung	507,00 DM
119	14.05.96	Grundwasserüberwachung	507,00 DM
120	03.06.96	Baustelleneinrichtung, Wasserhaltung, etc.	455.255,27 DM
121	13.06.96	Grundwasserüberwach./Abreinigen über Aktivkohle	657,00 DM
123	08.07.96	Grundwasserüberwachung	582,00 DM
125	01.08.96	Grundwasserüberwachung	864,00 DM
126	08.08.96	Baustelleneinrichtung, Wasserhaltung, etc.	31.438,58 DM
128	04.09.96	Grundwasserüberwachung	432,00 DM
129	01.10.96	Wiederherstellen der Zaunanlage	10.680,27 DM
130	17.10.96	Baustelleneinrichtung, Wasserhaltung, etc.	20.744,33 DM
132	10.11.96	Grundwasserüberwachung	432,00 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Sanierungstechnische Leistungen	
Lfd. Nr.	Datum		
133	11.11.96	Grundwasserüberwachung	432,00 DM
135	06.12.96	Bepflanzung des Geländes nach Sanierungsarbeiten	1.809,00 DM
136	16.01.97	Grundwasserüberwachung	432,00 DM
137	22.01.97	Material für Ausbesserungsarbeiten	61,43 DM
Gesamt:			1.877.966,37 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Gutachterliche Leistungen	
Lfd. Nr.	Datum		
3	15.02.91	Ergebnisdokumentation	300,00 DM
6	15.08.91	Statik + Baukonstruktion	1.180,00 DM
12	02.03.92	Ergebnisdokumentationen	400,00 DM
31	13.01.93	Statische Berechnungen	1.045,00 DM
45	30.07.93	Umwelttechnische Ergebnisdokumentation	1.680,00 DM
53	13.10.93	Ergänzende umwelttechnische Untersuchungen, etc.	3.926,25 DM
54	10.11.93	Umwelttechnische Ergebnisdokumentation	3.210,00 DM
59	18.04.94	Erstellung und Überarbeitung eines Sanierungsplans	23.230,76 DM
63	20.09.94	Beratung, Besprechungen/Ortstermin Wirtschaftsprüfer	1.623,50 DM
64	30.09.94	Veröffentlichung der beschränkten Ausschreibung	1.564,50 DM
66	19.10.94	Geotechnisches Gutachten, Nebenkosten	6.646,00 DM
67	28.10.94	Bericht zur Beurteilung der Bausubstanz, Nebenkosten	8.076,00 DM
68	21.12.94	Veröffentlichung der öffentlichen Ausschreibung	1.492,98 DM
69	30.12.94	Erstellung von Ausschreibungsunterlagen	34.188,60 DM
75	13.07.95	Fachtechnische/rechnerische Auswertung d. Angebote	13.178,25 DM
76	24.07.95	Angebotsprüfung durch Rechtsanwalt	2.565,00 DM
84	27.09.95	Prüfen von bautechnischen Unterlagen	7.520,61 DM
88	07.11.95	Arbeitsschutzbericht, Konzept Wasserreinigungsanlage	8.925,25 DM
92	24.11.95	Einholen von Genehmigungen	34.400,00 DM
93	30.11.95	Nachprüfung von bautechnischen Unterlagen	1.095,65 DM
99	21.12.95	Geotechnische Ergänzungsberichte div. Leistungen	21.040,50 DM
110	08.03.96	Beratung zu gesonderten Terminen, Rechnungsprüfung	5.282,83 DM
112	19.03.96	Verschied. geotechnische Kurzgutachten, Beratungen	6.547,50 DM
117	29.04.96	Rechnungsprüfung	594,00 DM
118	09.05.96	Bewertung von Nachträgen	3.056,50 DM
119	14.05.96	Rechnungsprüfungen, Beratung zu gesondertem Termin	2.495,00 DM
121	13.06.96	Erstellung geologischen Kurzberichtes	495,00 DM
122	25.06.96	Erstellen eines Kurzberichtes nach Gebäudeabbruch	4.900,00 DM
123	08.07.96	Rechnungsprüfung	396,00 DM
124	11.07.96	Beratung zu gesondertem Termin	1.509,00 DM
125	01.08.96	Rechnungsprüfung	792,00 DM
127	09.08.96	Schlußprüfung der Nachträge	2.759,00 DM
132	10.11.96	Zwischenbericht zur Grundwasserbeschaffenheit	2.082,61 DM
133	11.11.96	Gespräch zu gesondertem Termin	502,50 DM
134	11.11.96	Abschlußbericht zur Sanierungsmaßnahme	14.237,26 DM
Gesamt:			222.938,05 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Chemische Analytik	
Lfd. Nr.	Datum		
3	15.02.91	Bodenanalysen gaswerkspezifischer Kontaminanten	17.510,00 DM
12	02.03.92	Laborarbeiten	4.705,00 DM
23	04.11.92	Erstellung von Deklarationsanalysen	1.050,00 DM
24	04.11.92	Eluatanalysen auf PAK und BTEX	1.440,00 DM
33	18.02.93	Halbquantitative Messungen der Umgebungsluft	129,15 DM
39	19.04.93	Halbquantitative Messungen der Umgebungsluft	165,77 DM
41	28.05.93	Erstellung von Deklarationsanalysen	1.210,00 DM
43	30.06.93	Bodenanalysen gaswerksspezifischer Kontaminanten	947,00 DM
44	30.06.93	Grundwasseranalysen gaswerksspezifischer Kontamin.	5.172,00 DM
45	30.07.93	Grundwasseranalysen gaswerksspezifischer Kontamin.	1.486,00 DM
46	30.07.93	Ergänzende Untersuchungen	2.841,00 DM
48	12.08.93	Grundwasser-/Bodenanalysen spezifischer Kontamin.	1.910,00 DM
54	10.11.93	Organoleptische Bodenklassifizierung Bodenanalysen	5.291,00 DM
61	31.05.94	Erstellen v. Deklarationsanalysen f. Deponierung	1.210,00 DM
86	03.11.95	Bodenanalysen gaswerksspezifischer Kontaminanten	3.200,00 DM
94	13.12.95	Bodenanalysen gaswerksspezifischer Kontaminanten	24.530,00 DM
97	21.12.95	Analyse von Boden und Bodenluftproben	40.450,00 DM
105	12.02.96	Beprobung + Analysen v. Luft-, Boden- Wasserproben	31.510,00 DM
110	08.03.96	Analyse von Boden- und Grund-wasserproben	3.120,00 DM
117	29.04.96	Analyse von Wasserproben	1.970,00 DM
119	14.05.96	Analyse von Wasserproben	2.435,00 DM
121	13.06.96	Analyse von Wasserproben	1.720,00 DM
123	08.07.96	Analyse von Wasserproben	2.000,00 DM
125	01.08.96	Analyse von Wasserproben	3.610,00 DM
128	04.09.96	Analyse von Wasserproben	1.280,00 DM
132	10.11.96	Analyse von Wasserproben	1.280,00 DM
133	11.11.96	Analyse von Wasserproben	1.720,00 DM
136	16.01.97	Analyse von Wasserproben	1.280,00 DM
Gesamt:			165.171,92 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Entsorgung / Verwertung	
Lfd. Nr.	Datum		
1	07.12.90	Entsorgung von 0,76 t Gaswasser, Gebühren, etc.	1.539,16 DM
2	31.12.90	Entsorgung von 0,34 t Teerpaste, Annahmegebühren	381,00 DM
4	21.02.91	Kontaminierte Produktionsreste entsorgen	13.336,49 DM
8	18.02.92	Absaugen von Teeröl-Wasser-Gemisch, Abtransport	3.050,40 DM
15	16.03.92	Entsorgung von konditioniertem Teeröl, Zuschläge	5.399,05 DM
16	31.03.92	Entsorgung von konditioniertem Teeröl, Zuschläge	4.878,85 DM
17	28.04.92	Bearbeitung des Entsorgungsnachweises	390,00 DM
18	29.04.92	Entsorgung von konditioniertem Teeröl, Zuschläge	5.312,94 DM
19	25.05.92	Entsorgung von konditioniertem Teeröl, Zuschläge	3.978,80 DM
20	30.06.92	Entsorgung von konditioniertem Teeröl, Zuschläge	6.975,84 DM
21	13.07.92	Entsorgung von Phenolwasser	1.740,00 DM
23	04.11.92	Bearbeitung des Entsorgungsnachweises	690,00 DM
33	18.02.93	An- und Abtransport von Arbeitsgerät zum Aushub	38.261,81 DM
34	24.02.93	Bearbeitung des Entsorgungsnachweises	300,00 DM
37	05.03.93	Transport v. gereinigtem Gaswasser	186,56 DM
38	18.03.93	Entsorgung v. gereinigtem Gaswasser	239,13 DM
41	28.05.93	Bearbeitung des Entsorgungsnachweises	690,00 DM
48	12.08.93	Entsorgung bzw. Reaktivierung von Aktivkohle	1.850,00 DM
52	05.10.93	Entsorgung v. Bodenrückstand aus Pumpversuchen	10,00 DM
55	28.02.94	Entsorgung von konditioniertem Teeröl, Zuschläge	18.853,48 DM
57	16.03.94	Entsorgung von konditioniertem Teeröl, Zuschläge	31.363,60 DM
58	16.03.94	Entsorgung von konditioniertem Teeröl, Zuschläge	36.670,30 DM
60	09.05.94	Transport von befüllten Mulden	4.475,00 DM
61	31.05.94	Bearbeitung des Entsorgungsnachweises	690,00 DM
89	15.11.95	Verwertung v. kontaminiertem Aushub (624,100 t)	43.687,00 DM
92	24.11.95	Entsorg. v. kontaminiertem Erdaushub (3.887,920 t)	540.389,01 DM
95	14.12.95	Verwertung v. kontaminiertem Aushub (1040,680 t)	72.847,60 DM
96	20.12.95	Entsorg. v. kontaminiertem Erdaushub (1.333,620 t)	278.809,84 DM
100	31.12.95	Bearbeiten der Entsorgungs-/Verwertungsnachweise	690,00 DM
101	31.12.95	Entsorgung v. kontaminiertem Aushub (144,996 t)	10.149,72 DM
107	12.02.96	Entsorg. v. kontaminiertem Erdaushub (1.333,620 t)	277.159,46 DM
Gesamt:			1.404.995,04 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg		Eigene Leistungen	
Lfd. Nr.	Datum		
5	31.03.91	Löhne	1.881,94 DM
7	17.02.92	Löhne	1.410,10 DM
10	29.02.92	Löhne	995,00 DM
13	03.03.92	Löhne	10.274,97 DM
14	'92	Material	19,38 DM
Gesamt:			14.581,39 DM

Sanierung Weilburg		Sonstige Kosten	
Lfd. Nr.	Datum		
94	13.12.95	Telefongebühren	268,62 DM
105	12.02.96	Telefongebühren	616,77 DM
110	08.03.96	Telefongebühren	108,47 DM
117	29.04.96	Telefongebühren	45,70 DM
119	14.05.96	Telefongebühren	42,35 DM
Gesamt:			1.081,91 DM

Sanierung Weilburg		Behördliche Gebühren	
Lfd. Nr.	Datum		
40	24.05.93	Bestätigung des Entsorgungsnachweises	260,87 DM
Gesamt:			260,87 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Weilburg	Bautechnische Leistungen	Sanierungstech. Leistungen	Gutachterliche Leistungen	Chemische Analytik	Entsorgung / Verwertung
Jahr					
1990	–	–	–	–	1.920,16 DM
1991	8.457,54 DM	9.590,35 DM	1.480,00 DM	17.510,00 DM	13.336,49 DM
1992	12.291,67 DM	15.966,82 DM	400,00 DM	7.195,00 DM	32.415,88 DM
1993	3.941,20 DM	68.320,81 DM	9.861,25 DM	19.151,92 DM	41.537,50 DM
1994	3.578,40 DM	36.100,86 DM	76.822,34 DM	1.210,00 DM	92.052,38 DM
1995	123.475,09 DM	1.008.988,55 DM	88.725,26 DM	68.180,00 DM	946.573,17 DM
1996	4.392,80 DM	738.505,55 DM	45.649,20 DM	50.645,00 DM	277.159,46 DM
1997	–	493,43 DM	–	1.280,00 DM	–
Gesamt:	156.136,70 DM	1.877.966,37 DM	222.938,05 DM	165.171,92 DM	1.404.995,04 DM

Sanierung Weilburg	Eigene Leistungen	Sonstige Kosten	Behördliche Gebühren	Jahres- bzw. Gesamtkosten
Jahr				
1990	–	–	–	1.920,16 DM
1991	1.881,94 DM	–	–	52.256,32 DM
1992	12.699,45 DM	–	–	80.968,82 DM
1993	–	–	260,87 DM	143.073,55 DM
1994	–	–	–	209.763,98 DM
1995	–	268,62 DM	–	2.236.210,69 DM
1996	–	813,29 DM	–	1.117.165,30 DM
1997	–	–	–	1.773,43 DM
Gesamt:	14.581,39 DM	1.081,91 DM	260,87 DM	3.843.132,25 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Wetzlar		Gesamtkosten	
Lfd. Nr.	Datum		
1	29.06.92	Bautechnische Leistungen	70.000,00 DM
2	30.06.09	Sonstige Kosten	60,46 DM
3	30.06.92	Eigene Leistungen	243,40 DM
4	30.06.92	Eigene Leistungen	14.681,75 DM
5	30.06.92	Eigene Leistungen	722,98 DM
6	08.07.92	Bautechnische Leistungen	1.617,72 DM
7	08.07.92	Bautechnische Leistungen	120.000,00 DM
8	08.07.92	Bautechnische Leistungen	8.471,82 DM
9	14.07.92	Gutachterliche Leistungen	15.000,00 DM
10	28.07.92	Entsorgung / Verwertung	390,00 DM
11	30.07.92	Bautechnische Leistungen	28.200,00 DM
12	30.07.92	Bautechnische Leistungen	992,80 DM
13	30.07.92	Bautechnische Leistungen	120.080,00 DM
14	31.07.92	Bautechnische Leistungen	149,87 DM
15	31.07.92	Bautechnische Leistungen	515,77 DM
16	31.07.92	Eigene Leistungen	1.624,00 DM
17	31.07.92	Eigene Leistungen	571,42 DM
18	31.07.92	Eigene Leistungen	132,75 DM
19	04.08.92	Sanierungstechnische Leistungen	13.370,00 DM
20	20.08.92	Sanierungstech. / Gutachterliche Leistungen, Chem. Analytik	49.210,00 DM
21	20.08.92	Sanierungstechnische Leistungen	421.052,64 DM
22	28.08.92	Gutachterliche Leistungen	20.000,00 DM
23	31.08.92	Sanierungstechnische Leistungen	117,78 DM
24	31.08.92	Sanierungstechnische Leistungen	240,23 DM
25	31.08.92	Eigene Leistungen	8,55 DM
26	25.09.92	Sanierungstechnische Leistungen	526.315,79 DM
27	30.09.92	Bautechnische Leistungen	14.275,38 DM
28	30.09.92	Eigene Leistungen	176,00 DM
29	06.10.92	Sanierungstechnische Leistungen, Entsorgung / Verwertung	1.736.842,11 DM
30	06.10.92	Gutachterliche Leistungen	25.000,00 DM
31	09.10.92	Sonstige Kosten	110,00 DM
32	09.10.92	Sonstige Kosten	143,00 DM
33	09.10.92	Sanierungstechnische Leistungen, Sonstige Kosten	110,00 DM
34	13.10.92	Bautechnische Leistungen, Entsorgung / Verwertung	1.482.456,14 DM
35	16.10.92	Bautechnische Leistungen	6.255,93 DM
36	03.11.92	Sanierungstechnische Leistungen, Entsorgung / Verwertung	1.192.982,46 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Wetzlar		Gesamtkosten	
Lfd. Nr.	Datum		
37	06.11.92	Gutachterliche Leistungen	20.000,00 DM
38	06.11.92	Sanierungstech. / Gutachterliche Leistungen, Chem. Analytik	111.715,00 DM
39	06.11.92	Eigene Leistungen	76,00 DM
40	10.11.92	Gutachterliche Leistungen	2.375,40 DM
41	10.11.92	Bautechnische Leistungen	1.395,52 DM
42	12.11.92	Eigene Leistungen	29,24 DM
43	13.11.92	Bautechnische Leistungen	13.190,20 DM
44	17.11.92	Chemische Analytik	50.000,00 DM
45	20.11.92	Gutachterliche Leistungen	40.000,00 DM
46	20.11.92	Sanierungstechnische Leistungen, Entsorgung / Verwertung	250.877,19 DM
47	24.11.92	Sonstige Kosten	1.337,10 DM
48	30.11.92	Eigene Leistungen	23,40 DM
49	30.11.92	Eigene Leistungen	280,00 DM
50	30.11.92	Eigene Leistungen	199,73 DM
51	18.12.92	Behördliche Gebühren	310,00 DM
52	21.12.92	Bautechnische Leistungen	450,00 DM
53	28.12.92	Zuwendung	
54	31.12.92	Eigene Leistungen	184,20 DM
55	31.12.92	Eigene Leistungen	2.786,00 DM
56	31.12.92	Eigene Leistungen	2.561,54 DM
57	14.01.93	Sanierungstechnische Leistungen, Entsorgung / Verwertung	652.631,58 DM
58	21.01.93	Sanierungstech. / Gutachterliche Leistungen, Chem. Analytik	187.697,50 DM
59	21.01.93	Gutachterliche Leistungen	2.910,40 DM
60	31.01.93	Eigene Leistungen	11,25 DM
61	09.02.93	Gutachterliche Leistungen	380,43 DM
62	25.02.93	Gutachterliche Leistungen	8.057,10 DM
63	28.02.93	Eigene Leistungen	15,30 DM
64	29.03.93	Entsorgung / Verwertung	52.261,07 DM
65	29.03.93	Sanierungstechnische Leistungen	-13.401,22 DM
66	05.04.93	Sanierungstechnische Leistungen	234.782,61 DM
67	27.05.93	Sanierungstechnische Leistungen	59.024,11 DM
68	27.05.93	Sanierungstechnische Leistungen	65.004,36 DM
69	31.05.93	Eigene Leistungen	5,40 DM
70	22.06.93	Gutachterliche Leistungen	25.000,00 DM
71	22.06.93	Gutachterliche Leistungen	18.857,55 DM
72	09.09.93	Sanierungstech. / Gutachterliche Leistungen, Chem. Analytik	76.131,25 DM
Gesamt:			7.739.279,96 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Wetzlar		Bautechnische Leistungen	
Lfd. Nr.	Datum		
1	29.06.92	Abbrucharbeiten an Betriebsgebäuden	70.000,00 DM
6	08.07.92	Bearbeitung Bauantrag	1.617,72 DM
7	08.07.92	Abbrucharbeiten an Betriebsgebäuden	120.000,00 DM
8	08.07.92	Bauleistungsleistungen der Abbrucharbeiten	8.471,82 DM
11	30.07.92	Abbrucharbeiten an Betriebsgebäuden	28.200,00 DM
12	30.07.92	Abbrucharbeiten und Trafotransport	992,80 DM
13	30.07.92	Abbrucharbeiten an Betriebsgebäuden	120.080,00 DM
14	31.07.92	Abbrucharbeiten, Abbinden v. Versorgungsanschlüssen	149,87 DM
15	31.07.92	Abbrucharbeiten	515,77 DM
27	30.09.92	Reparaturarbeiten an bestehenden Gebäuden	14.275,38 DM
35	16.10.92	Bauleistungsleistungen der Abbrucharbeiten	6.255,93 DM
41	10.11.92	Gerüst erstellen	1.395,52 DM
43	13.11.92	Installation einer provisorischen Beheizung	13.190,20 DM
52	21.12.92	Vordachabdeckung anbringen	450,00 DM
Gesamt:			385.595,01 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Wetzlar		Sanierungstechnische Leistungen	
Lfd. Nr.	Datum		
19	04.08.92	Untersuchungsbohrungen	13.370,00 DM
20	20.08.92	Sanierungsbegleitung	25.910,00 DM
21	20.08.92	Baust.-Einrichtung, Verbau, Arbeitsschutz, Erdarbeiten	421.052,64 DM
23	31.08.92	Ausschachtungsarbeiten	117,78 DM
24	31.08.92	Beseitigen von Bohrschlamm	240,23 DM
26	25.09.92	Baust.-Einrichtung, Verbau, Arbeitsschutz, Erdarbeiten	526.315,79 DM
29	06.10.92	Baust.-Einrichtung, Verbau, Arbeitsschutz, Erdarbeiten	99.656,84 DM
34	13.10.92	Baust.-Einrichtung, Verbau, Arbeitsschutz, Erdarbeiten	578.092,00 DM
36	03.11.92	Verbau, Arbeitsschutz, Wasserhaltung, Erdarbeiten	380.873,18 DM
38	06.11.92	Sanierungsbegleitung	47.815,00 DM
46	20.11.92	Verbau, Arbeitsschutz, Wasserhaltung, Erdarbeiten	145.348,39 DM
57	14.01.93	Verbau, Arbeitsschutz, Wasserhaltung, Erdarbeiten	154.109,10 DM
58	21.01.93	Sanierungsbegleitung	66.177,50 DM
65	29.03.93	ÜBERZAHLUNG: Arbeitsschutz, Wasserhaltung, etc.	-13.401,22 DM
66	05.04.93	Wasserhaltung, Erdarbeiten, Oberfl.-Wiederherstellung	234.782,61 DM
67	27.05.93	Grundwasseraufbereitung	59.024,11 DM
68	27.05.93	Wasserhaltung, Erdarbeiten, Oberfl.-Wiederherstellung	65.004,36 DM
72	09.09.93	Sanierungsbegleitung	36.361,25 DM
Gesamt:			2.840.849,56 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Wetzlar		Gutachterliche Leistungen	
Lfd. Nr.	Datum		
9	14.07.92	Vorbereiten + Mitwirken bei Vergabe, Bauüberwachung	15.000,00 DM
20	20.08.92	Erstellen von Zwischenberichten	950,00 DM
22	28.08.92	Vorbereiten + Mitwirken bei Vergabe, Bauüberwachung	20.000,00 DM
30	06.10.92	Vorbereiten + Mitwirken bei Vergabe, Bauüberwachung	25.000,00 DM
37	06.11.92	Vorbereiten + Mitwirken bei Vergabe, Bauüberwachung	20.000,00 DM
38	06.11.92	Erstellen von Zwischenberichten	1.615,00 DM
40	10.11.92	Alternative zur statischen Berechnung d. Grubenverbaus	2.375,40 DM
45	20.11.92	Vorbereiten + Mitwirken bei Vergabe, Bauüberwachung	40.000,00 DM
58	21.01.93	Erstellen von Zwischenberichten	2.375,00 DM
59	21.01.93	Statische Berechnungen der Rampenanlage	2.910,40 DM
61	09.02.93	Prüfung der statischen Berechnungen der Rampenanlage	380,43 DM
62	25.02.93	Vermessungstechnische Leistungen, Dokumentation	8.057,10 DM
70	22.06.93	Ingenieurleistungen für Ausschreibung und Abrechnung	25.000,00 DM
71	22.06.93	Ingenieurleistungen	18.857,55 DM
72	09.09.93	Erstellen von Zwischenberichten	1.425,00 DM
Gesamt:			183.945,88 DM

Sanierung Wetzlar		Chemische Analytik	
Lfd. Nr.	Datum		
20	20.08.92	Laborarbeiten	22.350,00 DM
38	06.11.92	Laborarbeiten	62.285,00 DM
44	17.11.92	Laborarbeiten	50.000,00 DM
58	21.01.93	Laborarbeiten	119.145,00 DM
72	09.09.93	Laborarbeiten	38.345,00 DM
Gesamt:			292.125,00 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Wetzlar		Entsorgung / Verwertung	
Lfd. Nr.	Datum		
10	28.07.92	Bearbeiten des Entsorgungsnachweises	390,00 DM
29	06.10.92	Thermische Reinigung von kontaminiertem Boden	1.637.185,27 DM
34	13.10.92	Thermische Reinigung von kontaminiertem Boden	904.364,14 DM
36	03.11.92	Thermische Reinigung von kontaminiertem Boden	812.109,28 DM
46	20.11.92	Thermische Reinigung von kontaminiertem Boden	105.528,80 DM
57	14.01.93	Thermische Reinigung von kontaminiertem Boden	498.522,48 DM
64	29.03.93	Thermische Reinigung von kontaminiertem Boden	52.261,07 DM
Gesamt:			4.010.361,04 DM

Sanierung Wetzlar		Eigene Leistungen	
Lfd. Nr.	Datum		
3	30.06.92	Fuhrpark 110 km	243,40 DM
4	30.06.92	Löhne für 266,5 Std., zzgl. Gemeinkosten	14.681,75 DM
5	30.06.92	Material v. Lager, zzgl. Gemeinkosten	722,98 DM
16	31.07.92	Löhne für 29 Std., zzgl. Gemeinkosten	1.624,00 DM
17	31.07.92	Material v. Lager, zzgl. Gemeinkosten	571,42 DM
18	31.07.92	Fuhrpark 188 km	132,75 DM
25	31.08.92	Fuhrpark 19 km	8,55 DM
28	30.09.92	Fuhrpark 160 km	176,00 DM
39	06.11.92	Bewirtung	76,00 DM
42	12.11.92	Reisekosten	29,24 DM
48	30.11.92	Fuhrpark 52 km	23,40 DM
49	30.11.92	Löhne für 5 Std., zzgl. Gemeinkosten	280,00 DM
50	30.11.92	Material v. Lager, zzgl. Gemeinkosten	199,73 DM
54	31.12.92	Fuhrpark 61 km	184,20 DM
55	31.12.92	Löhne für 49,75 Std., zzgl. Gemeinkosten	2.786,00 DM
56	31.12.92	Material v. Lager, zzgl. Gemeinkosten	2.561,54 DM
60	31.01.93	Fuhrpark 25 km	11,25 DM
63	28.02.93	Fuhrpark 20 km	15,30 DM
69	31.05.93	Fuhrpark 12 km	5,40 DM
Gesamt:			24.332,91 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Wetzlar		Sonstige Kosten	
Lfd. Nr.	Datum		
2	30.06.09	Fotodokumentation	60,46 DM
31	09.10.92	Werksärztlicher Dienst	110,00 DM
32	09.10.92	Werksärztlicher Dienst	143,00 DM
33	09.10.92	Werksärztlicher Dienst	110,00 DM
47	24.11.92	Fahrtabrechnung	1.337,10 DM
		Gesamt:	1.760,56 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Wetzlar		Behördliche Gebühren	
Lfd. Nr.	Datum		
51	18.12.92	Abbruchgenehmigung durch Bauordnungsamt	310,00 DM
		Gesamt:	310,00 DM

Fortsetzung Anhang X

Sanierung Wetzlar	Bautechnische Leistungen	Sanierungstech. Leistungen	Gutachterliche Leistungen	Chemische Analytik	Entsorgung / Verwertung
Jahr					
1992	385.595,01 DM	2.238.791,85 DM	124.940,40 DM	134.635,00 DM	3.459.577,49 DM
1993	–	602.057,71 DM	59.005,48 DM	157.490,00 DM	550.783,55 DM
Gesamt:	385.595,01 DM	2.840.849,56 DM	183.945,88 DM	292.125,00 DM	4.010.361,04 DM

Sanierung Wetzlar	Eigene Leistungen	Sonstige Kosten	Behördliche Gebühren	Jahres- bzw. Gesamtkosten
Jahr				
1992	24.300,96 DM	1.760,56 DM	310,00 DM	6.369.911,27 DM
1993	31,95 DM	–	–	1.369.368,69 DM
Gesamt:	24.332,91 DM	1.760,56 DM	310,00 DM	7.739.279,96 DM

Anhang XI – Verwendete Abkürzungen

a	–	Jahr
AOX	–	adsorbierbare organische Halogenverbindungen (adsorbed organic halogen compounds)
B	–	Boden
BL	–	Bodenluft
BS	–	Bodensondierung
BTEX	–	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (Syn. für aromatische Kohlenwasserstoffe)
BTX	–	vgl. BTEX
C	–	Kohlenstoff
CH ₄	–	Methan
CKW	–	chlorierte Kohlenwasserstoffe
CN (CN ₂)	–	Cyanid
CO ₂	–	Kohlendioxid
CSB	–	chemischer Sauerstoffbedarf
d	–	Tag
DEV	–	Deutsches Einheitsverfahren
DIN	–	Deutsche Industrie Norm
DOC	–	gelöster organischer Kohlenstoff (dissolved organic Carbon)
EOX	–	extrahierbare organisch gebundene Halogene (extractable organic halogens)
EPA	–	Environmental Protection Agency der Vereinigten Staaten von Amerika
FCKW	–	Fluorchlorkohlenwasserstoff
Fe	–	Eisen
FKW	–	Fluorkohlenwasserstoffe
g	–	Gramm
GOK	–	Gelände Oberkante
GW	–	Grundwasser
GWL	–	Grundwasserleiter
GWS	–	Grundwasserspiegel
h	–	Stunde
H	–	Wasserstoff
H ₂ O	–	Wasserdampf
HFKW	–	Schwefelhexafluorid
HLfU	–	Hessische Landesanstalt für Umweltschutz
kf-Wert	–	Durchlässigkeitsbeiwert
kg	–	Kilogramm
KW	–	Kohlenwasserstoffe
kWh	–	Kilowattstunde
LfU	–	Landesamt für Umweltschutz in Baden-Württemberg
LHKW	–	leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
LKW	–	vgl. LHKW
m	–	Monat

m ²	–	Quadratmeter
m ³	–	Kubikmeter
mg	–	Milligramm
MJ	–	Mega Joule
MKW	–	Mineralöl Kohlenwasserstoffe
n. n.	–	nicht nachweisbar
N ₂ O	–	Distickstoffoxid
NO _x	–	nitrose Gase
O	–	Sauerstoff
O ₃	–	Ozon
PAK	–	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCP	–	Pentachlorphenol
pH	–	negativer dekadischer Logarithmus der H ₃ O ⁺ Ionenkonzentration
PJ	–	Peta Joule
S	–	Schwefel
s	–	Sekunde
SO ₂	–	Schwefeldioxid
t	–	Tonne
TOC	–	gesamter organischer Kohlenstoff (total organic Carbon)
TS	–	Trockensubstanz
US-EPA	–	vgl. EPA
VwV	–	Verwaltungsvorschrift
wdf.	–	wasserdampflich
Σ	–	Summenparameter
°C	–	Grad Celsius
µg	–	Mikrogramm